NAVKA I SZTVKA

W. ŁOZIŃSKI

ZIEMIA I JEJ BUDOWA

Ziemia i jej budowa

Wydawnictwo
Towarzystwa Nauczycieli szkół wyższych we Lwowie

NAUKA I SZTUKA

TOM V.

Ziemia i jej budowa

Skład główny w księgarni H. Altenberga we Lwowie
Warszawa E. Wende i Spółka

Ziemia i jej budowa

napisał

Walery Łoziński

z 91 illustracyami

Skład główny w księgarni H. Altenberga we Lwowie
Warszawa E. Wende i Spółka

[1907]

KRAKÓW — DRUK W. L. ANCZYCA I SPÓŁKI

I.

Wszechstronne poznanie otaczającej nas martwej czyli nieorganicznej przyrody — oto cel, jaki wytknęła sobie *geologia*. Jej zadaniem jest zbadanie materyałów, z jakich składa się skorupa ziemska, oraz wykrycie ich kolejnego następstwa po sobie w czasie i w przestrzeni, czyli jak się jedne skały na i obok drugich tworzyły. W tym celu geologia posługuje się znajomością skamieniałości, t. j. resztek roślinnych i zwierzęcych, pogrzebanych w utworach, z których zbudowana jest skorupa ziemi. Z rozpatrywania sił, które dziś na powierzchnię ziemi działają tak z wewnątrz jak i z zewnątrz, możemy sobie wyrobić pojęcie, w jaki sposób niegdyś tworzyła się skorupa ziemska i jakim ulegała przeobrażeniom, zanim przybrała swą dzisiejszą postać. Ale geologia nie zatrzymuje się w granicach, jakie jej zakreślają rozmiary kuli ziemskiej. Zastanawiając się nad pytaniem, w jaki sposób powstała ziemia, nad pochodzeniem materyałów, spadających z dalekich przestrzeni wszechświata na powierzchnię ziemi, nad zjawiskami wulkanicznemi, — musimy się przenieść w dziedzinę badań astronomicznych, celem zaznajomienia się ze stanowiskiem, jakie kula ziemska wśród ciał niebieskich zajmuje, oraz ze stosunkiem, w jakim do nich pozostaje.

Z tak szerokiego obszaru badań geologicznych wynikają dla tej nauki dwie konieczności. Przedewszystkiem musi sobie przybrać do pomocy inne nauki przyrodnicze, jak chemię, fizykę, zoologię i t. d. Z drugiej zaś strony z szybkim postępem geologii wnet okazała się potrzeba podzielenia olbrzymiego materyału, który wchodzi w zakres jej badań. Obecnie rozróżniamy w geologii następujące działy:

Geologia *dynamiczna* zajmuje się działaniem rozmaitych sił, którego widownią jest ziemia w epoce obecnej. Siły te mogą pochodzić z dwóch źródeł: albo są ukryte w głębi ziemi (np. wulkanizm), albo też wynikają z od-

działywania ciepła słonecznego na powierzchnię ziemi i mają swe siedlisko w atmosferze (wiatry, lodowce, wody bieżące). Pierwsze są przedmiotem dynamiki endogenicznej (czynników wewnętrznych), drugie egzogenicznej (czynników zewnętrznych). Geologia dynamiczna bada, w jaki sposób obecnie tworzą się skały, a z procesów, które dziś odbywają się na ziemi i którym możemy przypatrzeć się z całą dokładnością, wysnuwa bardzo ważne wnioski o powstawaniu różnych skał w ciągu minionych epok geologicznych. W jej świetle martwy kamień ożywia się, ona odtwarza zamierzchłą przeszłość każdego kawałka skały.

Badanie samej natury skał jest rzeczą petrografii. Jej główną podporę stanowi mineralogia czyli nauka o minerałach, z których składają się skały.

Tektonika rozpatruje budowę skorupy ziemskiej: ułożenie, pofałdowanie warstw, pęknięcia, jakie je przecinają, i t. p.

Zadaniem stratygrafii jest oznaczenie względnego wieku utworów geologicznych; ona daje odpowiedź na pytanie, która z dwóch skał jest młodszą, a która starszą. Geologia stratygraficzna posługuje się głównie paleontologią, ta zaś uczy rozpoznawać skamieniałości, szczątki dawno zaginionych zwierząt (paleozoologia) i roślin (paleobotanika), które znachodzimy w głębi ziemi.

Niektóre z powyższych działów zyskały z czasem coraz większą samodzielność i wyrobiły się w odrębne umiejętności. Tak stało się z petrografią, a podobnie i paleontologia, jako studyum rozwoju życia organicznego na ziemi, zasłużyła na osobne miejsce w rzędzie nauk. Mimo to jednak związek geologii z petrografią i paleontologią pozostaje jak najściślejszym: wszystkie trzy wspierają się wzajemnie i żadna z nich nie może się obejść bez pomocy innych.

Często można się spotkać w starszej literaturze z wyrazem geognozya, który znaczy to samo co geologia i dziś już zupełnie wyszedł z użycia.

ZASADNICZE POJĘCIA Z GEOLOGII.

Powierzchnia ziemi jest widownią bezustannych przemian. Ruchy, jakim skorupa ziemska dawniej ulegała, spiętrzyły wysokie góry i stworzyły wielkie zagłębienia. Czynniki, z zewnątrz na powierzchnię ziemi działające, wśród których pierwsze miejsce zajmuje woda, dążą zwolna a statecznie do tego, aby każdą wyniosłość obniżyć i jej kosztem wyrównać istniejące zapadłości. Działanie niszczące czynników atmosferycznych obejmujemy nazwą denudacyi.

Woda, która spada jako opad atmoferyczny na powierzchnię ziemi, ulega rozmaitemu losowi. Jedna część wsiąka w szczeliny i pory skał, płynie jakiś

czas pod ziemią, rozpuszcza napotkane na swej podziemnej drodze skały, jak wapień, gips lub sól, i obciążona w mniejszym lub większym stopniu roztworzonemi skałami wydobywa się jako źródło, z którego rzeki czerpią swój zapas wody. Inna część spadłej wody spływa po powierzchni i unosi ze sobą wszelki drobny materyał, jaki tylko w drodze napotka. Tak obładowanej wodzie biegnącej nie zdoła oprzeć się nawet najtwardsza skała, lecz ulega ścieraniu i swą stratą wzbogaca przepływającą żyłę wodną w unoszony materyał skalny. Wytryskujące ze źródeł i spływające po powierzchni ziemi wody tworzą potoki, a z ich połączenia powstają rzeki, które uchodzą do mórz. Ale zanim dopłyną do ujścia, przerabiają i sortują materyał, który z powierzchni lądów zabrały.

U ujścia rzeki do morza namuł, przez nią przyniesiony, opada na dno morskie i pokrywa je warstwą na znacznej przestrzeni. Ten materyał nie jest zawsze jednakowy, ale zmienia się często w ciągu roku. Przy wysokim stanie wody rzeki mogą przynieść większe okruchy skał, natomiast przy nizkim tylko najdrobniejsze. W ten sposób koło ujścia rzeki będą się na dnie morskiem osadzać kolejno po sobie różne warstwy, jedna na drugiej.

Część unoszonego materyału rzeki mogą zostawiać w jeziorach, przez które przepływają — można więc i w zbiornikach wody słodkiej widzieć zjawiska zupełnie podobne do tych, jakie poznaliśmy w morzu, tylko w znacznie mniejszych rozmiarach.

Razem z osadami, naniesionymi przez wody bieżące, opadają na dno ginące zwierzęta, które żyły w tym zbiorniku wody morskiej lub słodkiej. Miękkie części ulegają szybkiemu rozkładowi, natomiast twarde (kości, skorupy) zostaną pogrzebane w osadach i będą kiedyś skamieniałościami. Czasem rzeka przyniesie rośliny lądowe, a te również zasypane przez namuł, zostaną przemienione z czasem w węgiel albo pozostawią po sobie wierne odciski. Będą one kiedyś świadczyć o blizkości wybrzeża lub ujścia rzeki.

W pustynnych, bezodpływowych obszarach wiatry, a na wysokich górach i w podbiegunowych okolicach posuwające się lody zastępują przenoszącą czynność wód płynących.

Tymczasem w morzach strefy gorącej na podwodnej skale zagnieżdżają się korale. Z wody morskiej wydzielają węglan wapniowy i z niego budują ogromną rafę koralową.

Gdzieindziej znowu widzimy równocześnie wybuch wulkanu. Wnętrze góry wyrzuca popiół i kawałki skał, które spadają na ziemię i pokrywają znaczny obszar. Z krateru wylewa się potężny strumień ognisto-płynnej lawy, płynie po powierzchni ziemi i wreszcie krzepnie.

Gdy kiedyś w odległej przyszłości wybrzeże morza daleko się przesunie, rzeka przeniesie swój bieg w inne strony, wulkan wygaśnie, a korale wskutek jakiejś niekorzystnej zmiany klimatu wyginą, — jakiż widok przedstawi się geologowi, który będzie badał tak różne okolice? W miejscach, gdzie nagromadzały się

osady rzek, zobaczy szereg warstw, ułożonych na sobie podobnie, jak kartki książki. Najgłębsza z nich będzie zarazem najstarszą, ku górze zaś będą następować coraz młodsze, a wreszcie najmłodsza. Tak byłoby, gdyby warstwy od chwili utworzenia się nie uległy żadnemu ruchowi i zachowały się w ułożeniu poziomem. Ale tymczasem mogły się objawić ruchy górotwórcze, wyruszyć warstwy z położenia pierwotnego, nachylić, ustawić pionowo, a nawet przewrócić tak, iż młodsze będą się znachodzić pod starszemi. Na podstawie znalezionych skamieniałości geolog będzie mógł osądzić, który utwór jest morskim, a który słodkowodnym, rozpoznać kolejne następstwo warstw po sobie oraz porównać je z innemi odległemi co do ich względnego wieku.

Gdzieś dalej zwrócą uwagę tego samego geologa zwały jednostajnej gliny, nawianej kiedyś przez wiatry, a zawierającej szczątki zwierząt lądowych — lub też potężne zwały okruchów skalnych, przyniesionych w to miejsce przez lody, które później wskutek zmiany klimatu cofnęły się w zimne okolice. Z tego będzie mógł wnosić w pierwszym wypadku o przeszłości suchej i gorącej — drugie będą dlań dowodem istnienia niegdyś pokrywy lodowej, która z biegiem czasu ustąpiła.

W innem miejscu ten sam geolog natrafi na niewyraźnie lub wcale nieuwarstwowane skały wapienne z resztkami korali, które tę rafę wybudowały. Gdzieindziej wreszcie znajdzie potężne skały, w których pozna zastygłe lawy dawnych wulkanów, pokrywające utwory osadowe lub przecinające je wzdłuż szczelin w rozmaitych kierunkach.

Nie tylko następstwo warstw w kierunku pionowym czyli ich względny wiek roztrzyga o różnicach, jakie zachodzą między skałami, gdyż widzieliśmy, jak odmienne utwory mogą powstawać równocześnie. Oczywiście i skamieniałości równoczesnych utworów będą się różniły między sobą, odpowiednio do tego, czy warstwy tworzyły się w wodzie morskiej, czy słodkiej, czy w klimacie gorącym, czy w krainach chłodniejszych i t. p. Takie różnice, spostrzegane między utworami równocześnie powstałymi, bywają w geologii określane wyrazem *facies*, jak np. f. przybrzeżny, głębokomorski, słodkowodny.

Dokładne zbadanie utworów geologicznych w rozmaitych krajach i częściach świata, porównanie ich wzajemnego stosunku do siebie oraz resztek organicznych, jakie zawierają, pozwoliło oznaczyć ich względny wiek. Nie możemy wiedzieć, ile lat lub wieków upłynęło od utworzenia się jakiejś skały. Liczne próby w tym kierunku dotąd nie doprowadziły, a wątpić należy, czy i kiedyś doprowadzą, nawet do przybliżonego rezultatu. To tylko można z całą pewnością rozstrzygnąć, która skała jest starszą, a która młodszą, jaki utwór geologiczny tworzył się dawniej lub później niż drugi. Na tej podstawie geologia podzieliła wszystkie wogóle skały, na jakie dotąd w skorupie ziemskiej natrafiono aż do największej, jeszcze dla naszego badania bezpośrednio dostępnej głębokości — na grupy, które umożliwiają zoryentowanie się w historyi ziemi. Oto okresy[1]), w które ujęto przeszłość ziemi:

Grupa (era)[2].	System (okres).	Piętro (epoka).
V. Kenozoiczna.	10. Nowoczesny (czwartorzędny).	Alluwium. Dyluwium.
	9. Trzeciorzędny.	Pliocen. Miocen. Oligocen. Eocen.
IV. Mezozoiczna.	8. Kredowy.	Senon. Turon. Cenoman. Gault. Neokom.
	7. Jurajski.	Malm (biała jura). Dogger (brunatna j.). Lias (czarna j.).
	6. Tryasowy[3].	Górne [Kajper]. Środkowe [Wapień muszlowy]. Dolne [Pstry piaskowiec].
III. Paleozoiczna.	5. Permski [dyasowy][4].	Górne [Zechstein]. Dolne [Rothliegendes].
	4. Węglowy (karboński).	Górne. Dolne.
	3. Dewoński.	Górne Środkowe. Dolne.
	2. Sylurski.	Górne.
	1. Kambryjski.	Dolne.
II. Eozoiczna[5].		
I. Azoiczna (archaiczna, pierwotna).		

Tak przedstawia się podział najogólniejszy. Piętra podzielono jeszcze dalej, ale te dalsze podziały mają już tylko miejscowe znaczenie. Już z tego, co powiedzieliśmy powyżej o faciesach, wynika, że utwory tego samego wieku geologicznego nie wszędzie są jednakowo wykształcone. To też nie tylko co do bardziej szczegółowych podziałów, ale nawet co do piąter i systemów zachodzą wielkie różnice pomiędzy geologami różnych narodowości. Podział, który tutaj podaliśmy, jest wprawdzie najwięcej przyjęty, ale nie całkiem powszechny. Tak np. uwzględniając przedewszystkiem geologiczne stosunki własnego kraju, Anglicy wyróżniają między kambryjskim a sylurskim jeszcze jeden sy-

stem, zwany Ordovician. Usunięcie takich różnic i ujednostajnienie chronologii geologicznej jest głównem zadaniem międzynarodowych kongresów geologów, z których dziewiąty obradował w Wiedniu w sierpniu 1903, a dziesiąty odbył się w Meksyku w r. 1906.

W powyższym przeglądzie wszystkich systemów najniżej spotykamy najstarsze utwory, pozbawione jeszcze resztek organicznych, skąd nazwa ich: grupa azoiczna. Są one przynajmniej po części tą skorupą, którą ostygająca ziemia najpierw się pokryła. Dalej ku górze następuje grupa eozoiczna, składająca się w przeważnej części ze skał, które powstały niewątpliwie już pod wpływem wody, krążącej i zbierającej się w zagłębieniach na powierzchni ziemi (zlepieńce, piaskowce, kwarcyty, wapienie), a które czasem uległy tak silnej przemianie, iż trudno je odróżnić od skał grupy archaicznej. Zazwyczaj jednak wybitne dyzkordancye (niezgodność uławicenia) oddzielają grupę eozoiczną od archaicznej i od systemu kambryjskiego i ułatwiają zadanie ścisłego odgraniczenia utworów eozoicznych. Sądząc z ogromnej miąższości skał osadowych, era eozoiczna co do swej długości co najmniej dorównywała paleozoicznej. Jak nazwa wskazuje, w grupie eozoicznej spotykamy pierwsze, bardzo skąpe ale niewątpliwe ślady życia organicznego na ziemi. W całej pełni pojawiło się życie organiczne w okresie kambryjskim. Posuwając się w górę ku coraz młodszym skałom osadowym, spotykamy szczątki coraz bogatszego i coraz wyżej rozwiniętego życia. Wreszcie w epoce dyluwialnej po raz pierwszy ukazuje się człowiek, a po niej nastąpiła dzisiejsza, dla której dotąd utrzymała się przestarzała i nieodpowiednia nazwa alluwialnej.

Badanie przeszłości ziemi, wyróżnianie systemów i piąter opiera się na dokładnem poznaniu skamieniałości, które się zachowały w skałach osadowych. Nie wszystkie skamieniałości nadają się w jednakowej mierze do oznaczenia względnego wieku skał osadowych. Niektóre organizmy żyły bardzo długo i przetrwały bez zmiany cały szereg epok, a nawet okresów geologicznych. Szczątki skamieniałe takich organizmów nie mogą służyć za podstawę do ścisłego określenia, w jakim czasie powstała jakaś skała osadowa. Ale w każdej epoce geologicznej żyła pewna ilość organizmów, których istnienie ograniczało się wyłącznie do tej epoki, a których resztek skamieniałych daremnie szukalibyśmy wśród wcześniejszych lub późniejszych skał osadowych. Takie właśnie organizmy, które żyły krótko i których resztki znachodzimy w utworach osadowych z jednej tylko epoki, mają największą wartość przy ocenianiu geologicznego wieku skał osadowych. Ich skamieniałe szczątki pozwalają odszukać równoczesne utwory osadowe w najodleglejszych okolicach i dlatego nazywamy je «skamieniałościami przewodniemi».

Na badaniu naukowem nie kończy się zadanie geologii. Jak każda inna, tak i ta nauka znajduje wielokrotne zastosowanie do potrzeb praktycznych,

a naodwrót praktyka (np. roboty górnicze) niejednem spostrzeżeniem wzbogaca materyał naukowy.

Cały przemysł górniczy, od najważniejszych (węgiel, kruszce, sól, nafta i t. d.) aż do mniej ważnych (np. garncarstwo) gałęzi, jest jednem praktycznem zastosowaniem geologii i nie może się obejść bez jej umiejętnej pomocy. Wprawdzie geolog nie może dać bezwzględnego zapewnienia, że w jakiemś miejscu i w pewnej głębokości górnik natrafi właśnie na poszukiwane kopaliny — ale na podstawie doświadczeń, nabytych w wielu innych kopalniach, może z bardzo wielkiem prawdopodobieństwem osądzić, czy trud i koszty będą daremne, czy też możemy liczyć na pomyślny wynik poszukiwań w głębi ziemi. A gdy już raz natrafimy na pokład pożądanych kopalin, wtedy jedynie geolog orzeka o wartości tych zasobów mineralnych i on to wytycza kierunek, którego mamy się trzymać w robotach podziemnych. Zależność górnictwa od geologii najlepiej stwierdza historyczny rozwój tej nauki, której pierwsze umiejętne początki wyszły z końcem XVIII w. właśnie z tych niemieckich krajów, które od wieków słynęły z bogactwa mineralnego i wysoko stojącego przemysłu górniczego.

Nie tylko górnictwo znajduje w geologii umiejętną pomoc. Równie dobrze potrzebuje jej znajomości inżynier, kierujący jakąkolwiek budową (np. kolei, tunelu, kanału), jak rolnik przy uprawie roli. Pierwszego geologia zaznajomi z właściwościami terenu, na którym ma do czynienia, i da mu do ręki odpowiedni materyał — drugiego pouczy o powstaniu i składzie gleby, a zarazem o jej potrzebach i o doborze stosownego nawozu. Mineralne nawozy, jak kainit, fosforyt, torf, guano, margiel są przedmiotem badań geologicznych.

To samo, co powiedzieliśmy o rolnictwie, da się także zastosować do leśnictwa. Doświadczenia wykazały zawisłość drzewostanu od gruntu, którego różne rodzaje powodują bardzo nierównomierny przyrost drzew w ciągu roku. Niejednokrotnie zauważono wpływ gruntu na gatunek drzew, na nim rosnących.

Wiele szkód wyrządzają piaski lotne albo wydmy, wędrujące za powiewem wiatru — zasypują urodzajne pola, a często nawet zmuszają ludność do opuszczania swych siedzib. Piaski lotne są jednem ze zjawisk, któremi zajmuje się geologia i ona to może wskazać najskuteczniejsze środki ochronne, przedewszystkiem umiejętne zalesienie.

Najważniejszym warunkiem zdrowia jest dobra woda do picia, a jej brak bywa bardzo często powodem rozszerzania się chorób zakaźnych (np. tyfusu). Tego rodzaju wypadki zdarzają się nie tylko w miastach, ale zwłaszcza po wsiach, gdzie kopaniem studzien zajmują się ludzie, nie mający żadnego pojęcia o geologii. Ona bada podziemny bieg wód i występowanie źródeł, a na tej podstawie powinna kierować kopaniem studzien i zapewnić wodę dobrą, któraby nie zawierała składników, szkodliwych dla zdrowia.

II.

Planety, z których składa się system słoneczny, posiadają bardzo wiele cech wspólnych. Na tej podstawie Kant (1755), a w 40 lat później Laplace podali teoryę, znaną powszechnie pod nazwą teoryi Laplace'a, która stara się wyjaśnić, w jaki sposób utworzyły się ciała niebieskie układu słonecznego. W myśl tej teoryi przestrzeń, którą zajmuje system słoneczny, pierwotnie wypełniała bardzo rzadka, rozżarzona materya gazowa i sięgała daleko poza drogi najdalszych planet. W podobnym stanie ognisto-gazowym znachodzą się mgławice, które nawet w najsilniejszym teleskopie przedstawiają się jako mgła; niektóre z nich posiadają już pierścienie lub kształtem swym zdradzają istnienie ruchu wirowego. Owa masa gazowa wskutek ciągłej utraty ciepła w zimną przestrzeń wszchświatową, poczęła zgęszczać się i zmniejszać coraz bardziej, a w ślad za tem jej ruch obrotowy dokoła jednej osi stawał się coraz szybszym. Równocześnie zaś z przyspieszeniem obrotu wzmogło się działanie siły odśrodkowej, masa gazowa uległa silnemu spłaszczeniu i przybrała kształt soczewki. Na obwodzie siła odśrodkowa była największą i sprawiła, że w tem miejscu oderwał się pierścień, który w tym samym kierunku obracał się dalej dokoła pozostałej masy. Ale pierścień ten wskutek niejednostajnej gęstości popękał, a jego szczątki połączyły się pod działaniem siły przyciągającej (attrakcyi) w jedną lub więcej planet, które krążyły dokoła pierwotnej masy gazowej. Planeta wirowała także dokoła własnej osi i dzięki temu oddzielały się od niej pierścienie, które dały początek księżycom. Ze wszystkich planet jedynie Saturn po dziś dzień zachował pierścień.

Według teoryi Laplace'a ciała niebieskie przechodzą w swym rozwoju kolejno przez rozmaite stany, których przykłady znachodzimy we wszechświecie. Najpierw znajdują się w stanie ognisto-gazowym (mgławice), potem pojawia się zgęszczone jądro (słońce i gwiazdy stałe), jeszcze później skrzepła skorupa (ziemia), a wreszcie zupełnie wygasają (księżyc). Przez takie stadya rozwoju przechodzi każde ciało niebieskie, a odbywa się to z tem większą szybkością, im mniejszą jest jego masa. Na powierzchni ogromnego Jowisza widzi się

plamy, które są prawdopodobnie pierwszymi śladami krzepnącej powłoki, podczas gdy księżyc, mniejszy od ziemi, oddawna ostygł zupełnie.

Wiele faktów przemawia na korzyść teoryi Laplace'a. Według niej planety, bardziej odległe od słońca, powinny posiadać niewielką gęstość, bo oddzielały się od pierwotnej masy gazowej wówczas, gdy jej zgęszczenie było jeszcze małem [6]). Z tego samego powodu planety powinny być gęstszemi od swych księżyców. Gęstość planet systemu słonecznego tak się przedstawia:

Woda	1,00
Słońce	1,42
Merkury	6,57
Wenus	4,52
Ziemia	5,50
Księżyc	3,50
Mars	3,98
Jowisz	1,36
Saturn	0,72
Uran	1,09
Neptun	1,68

Dzięki analizie spektralnej poznano pierwiastki, z jakich zbudowane są ciała niebieskie i na poparcie teoryi Laplace'a przekonano się, że nie tylko słońce, ale także gwiazdy stałe składają się z takich tylko pierwiastków, które poznaliśmy już na ziemi. Na słońcu wykryto więcej niż połowę ziemskich pierwiastków, przedewszystkiem metali.

W środku systemu słonecznego znajduje się słońce, które swym ogromem o wiele przewyższa wszystkie planety razem wzięte. Wewnątrz słońca możnaby bardzo dobrze zmieścić ziemię z okrążającym ją księżycem, którego droga wypadłaby zaledwie mniej więcej w połowie odległości między środkiem a powierzchnią słońca. Słońce prawdopodobnie znajduje się w stanie ognisto-gazowym, ale wskutek pewnego zgęszczenia posiada już płynne jądro. Wobec bardzo wysokiej temperatury, którą obliczają na parę tysięcy stopni, pierwiastki na słońcu nie tworzą połączeń chemicznych. Od czasu do czasu zdarzają się na słońcu gwałtowne wybuchy gazów, przeważnie wodoru. Ogromne słupy ogniste, t. zw. protuberancye, strzelają nagle z powierzchni słońca do wysokości, która może wynosić do 500.000 km.

Porównanie objętości i gęstości słońca i planet z ziemią daje następujące cyfry:

	Objętość:	Gęstość:	Masa: [7])
Słońce	1283720	0,253	324439
Merkury	0,052	1,173	0,061
Wenus	0,975	0,807	0,787
Ziemia	1,000	1,000	1,000

Mars	0,147	0,711	0,105
Jowisz	1279,412	0,242	308,990
Saturn	718,883	0,128	91,919
Uran	69,237	0,195	13,518
Neptun	54,955	0,300	16,469

Od masy ciał zależy wprost ich siła przyciągania. Przy użyciu jednakowej siły można podnieść w górę na Jowiszu 1, na ziemi 2, a na księżycu 12 dm^3 żelaza. Jeżelibyśmy 1 kg przenieśli z ziemi na słońce, lub którą z planet, to jego ciężar ulegnie zmianie. Będzie mianowicie przybierał następujące wartości:

Słońce	27,62 kg
Merkury	0,44 »
Wenus	0,80 »
Ziemia	1,00 »
Księżyc	0,18 »
Mars	0,38 »
Jowisz	2,25 »
Saturn	0,89 »
Uran	0,75 »
Neptun	1,56 »

Drogi Marsa i Jowisza przedziela pas małych planet (asteroidy, planetoidy), których dotąd już znamy przeszło 400. Wszystkie są stosunkowo bardzo małe i razem wzięte dałyby zaledwie $^1/_4$ ziemi. Przytem odznaczają się brakiem kształtu mniej więcej kulistego.

Niektórym planetom towarzyszą w obiegu dokoła słońca księżyce (trabanty, satellity). Mars posiada 2 księżyce, Jowisz 5, Saturn 8, Uran 4, a Neptun 1. Także ziemia posiada księżyc, który, jako najbliższy sąsiad wśród ciał niebieskich, został też zbadany o wiele dokładniej, aniżeli wszystkie inne. Długoletnie obserwacye powierzchni księżyca przyniosły wiele szczegółów ciekawych i bardzo ważnych dla geologii.

Księżyc jest zupełnie pozbawiony powietrza i wody, a stąd wynika także brak życia organicznego. Niektórzy badacze utrzymują, że księżyc nigdy nie miał ani wody ani atmosfery. Inni znowu są zdania, że je niegdyś posiadał, podobnie jak ziemia, i dopiero z biegiem czasu utracił, posuwając się w swym rozwoju prędzej niż ziemia. Jeżeli jednak księżyc niegdyś rzeczywiście posiadał wodę i atmosferę, to ich istnienie musiało być stosunkowo krótkiem. Nie widać bowiem na jego powierzchni najmniejszego śladu, pozostawionego przez działanie tych czynników. Na ziemi pod wpływem czynników atmosferycznych skały wietrzeją, a z ich gruzów tworzą się nowe osady, które mają tak przeważający udział w budowie skorupy ziemskiej. Tego wszystkiego dotąd nie udało się znaleźć na księżycu, który zachował bez zmiany swoją powierzchnię od chwili, gdy ognisto-płynna bryła pokryła się stężałą skorupą.

Skrzepnięcie, którego ślady pozostały jako pęknięcia widoczne na powierzchni, doszło na księżycu już do tego stopnia, iż dziś nie widać na nim żadnych objawów wybuchowych, podobnych do zjawisk wulkanicznych na ziemi; że jednak kiedyś istnieć musiały, tego dowodzi sama powierzchnia księżyca, która jedynie pod wpływem sił, we wnętrzu ukrytych, i ich czynności wybuchowej mogła się ukształtować tak, jak ją w teleskopach widzimy.

Suess tak opisuje powierzchnię księżyca: «Nie widać ani wody, ani też śladu osadów, któreby pozostały po dawnych morzach, a które na ziemi rozległą powłoką okrywają znaczną część kontynentów; nie widać też zgoła niczego, coby przypominało kształty naszych gór. . . . . Co okazuje się na księżycu, to tylko koła, wielkie, średnie i mniejsze, zawsze kształt kołowy, co najwyżej tu i ówdzie elipsa lub małe zboczenie od koła. Oto naga powierzchnia skrzepłego, niegdyś rozżarzonego ciała niebieskiego».

Na księżycu można dojrzeć zagłębienia i wyniosłości, które swym kształtem pierścieniowatym przypominają kratery ziemskich wulkanów. Jak u naszych wulkanów, tak samo i tu na większych wyniosłościach są czasem nasadzone mniejsze. Najwięcej podobieństwa do gór na księżycu okazują wulkany wysp Hawaii. Niektóre kratery księżyca lśnią wewnątrz od białych plam. Podobne jasne zabarwienie daje się spostrzedz i na ziemskich wulkanach, a pochodzi z par, które podczas wybuchu wydobywają się z głębi ziemi i osadzają na ścianach krateru połączenia chemiczne o jasnej barwie, jak kwas borowy, sól zwyczajną, siarkę, salmiak, ałun t t. p.

Obok kraterów ukazują się jako smugi na powierzchni księżyca proste i głębokie bruzdy, na dziesiątki i setki km długie, które możnaby porównać z pęknięciami skorupy ziemskiej.

Góry na księżycu wznoszą się znacznie wyżej, aniżeli wulkany ziemskie; niektóre z nich sterczą na przeszło 8000 m ponad okoliczne płaszczyzny. Ale należy pamiętać o tem, że na księżycu siła ciężkości jest około 6 razy mniejszą niż na ziemi, co musiało potęgować siły wybuchowe. Wybuchy mogły dzięki tej okoliczności wyrzucać z głębi materyały do większej wysokości i budować wynioślejsze od ziemskich stożki.

W budowie kraterów ziemskich i księżycowych zachodzą znaczne różnice. Pierwsze mają kształt stromych stożków z lejkowatem zagłębieniem w środku. Natomiast na księżycu przeważna część wulkanów przedstawia się jako płaskie, rozległe zapadłości, ograniczone na brzegu wypukłym wałem.

Przyczyną wybuchów na księżycu były niewątpliwie eksplozye gazów, z których mogła się chwilowo utworzyć bardzo cienka warstwa atmosfery, ale wnet ulegała rozprószeniu. Kształt kraterów księżycowych łudząco przypomina — oczywiście bez porównania w większych rozmiarach — bańki, jakie się tworzą na powierzchni niektórych metali w chwili krzepnięcia. Stopione srebro pochłania (absorbuje) tlen z powietrza; w atmosferze czystego tlenu może absorbować swą 22-krotną objętość tego gazu, który przy ostyganiu na-

powrót z trzaskiem wydziela. Wtedy skrzepłą powierzchnię przebija roztopione srebro, wyrzucone z głębi przez gazy, drobne krople metalu podskakują wysoko w górę, a równocześnie tworzą się małe stożki wybuchowe. Tą samą własnością odznaczają się: miedź, kobalt, nikiel, bronz, szkło i rozmaite minerały. Bardzo ładnie występują stożki wybuchowe na stygnącym tlenku ołowiu (glejta). Podobnie gips sproszkowany przy ogrzaniu wydziela parę wodną wśród wybuchowych objawów.

Jeżeli księżyc posiadał kiedyś atmosferę, to jej warstwa musiała być o wiele cieńszą od ziemskiej, a wskutek tego wywierała daleko mniejsze ciśnienie na powierzchnię księżyca. Ten warunek musiał zwiększać prężność wydzielających się gazów i potęgować ich siłę eksplozywną. A także temperatura, przy której ciała stałe przechodzą w stan płynny lub gazowy, ulega znacznym zmianom, zależnie od ciśnienia, pod jakiem się znachodzą.

Suess przyjmuje, że tylko mniejsze z kraterów księżycowych powstały wskutek eksplozyj gazowych. Inaczej ma się rzecz z powstaniem ogromnych, kolistych płaszczyzn, otoczonych dokoła potężnym wałem, o których wyżej była mowa. Te t. zw. «morza» tworzyły się zdaniem Suessa wskutek przetapiania skorupy księżycowej w następujący sposób:

Księżyc, ostygając, pokrył się na powierzchni cienką warstwą żużli. Temperatura jego nie była jednostajną i w niektórych miejscach mogła się podwyższać. Wskutek tego tu i owdzie na powierzchni księżyca następowało ponowne stopienie żużlowatej skorupy. To przetopienie z jednego punktu zataczało coraz szersze kręgi i we wszystkich kierunkach rozchodziło się na setki km wokoło. Tak utworzyło się ogromne ognisko okrągłe, u którego brzegów temperatura była niższą aniżeli w środku i nie wystarczała do stopienia żużli. To też na obwodzie takiego ogniska żużlowata skorupa została ściśnięta i wypiętrzona w formie wału. Po zupełnem ostygnięciu pozostała rozległa płaszczyzna, na zewnątrz otoczona wysokim wałem żużli, po części spojonych płynną niegdyś masą.

Na podstawie ścisłego zbadania zjawisk świetlnych księżyca, próbowano oznaczyć, do jakiej skały ziemskiej najwięcej zbliża się materyał, z którego zbudowaną jest powierzchnia księżyca stale ku nam zwrócona. Z obserwacyi nad kątem polaryzacyjnym światła, odbitego od powierzchni księżyca, wynika, że skały księżyca są bardzo podobne do niektórych ziemskich law wulkanicznych, a mianowicie t. zw. szkliw (np. obsydyan), w których to skałach składniki mineralne, krzepnąc z ognistego stopu, nie wydzielały się osobno, ale dały masę szklistą, tak jednolitą, iż ich niepodobna odróżnić. Tego rodzaju skała barwy czarnej, znana pod nazwą witrofiru, a zawierająca dużo wpryśniętego żelaza, występuje między innymi na półwyspie bałkańskim. Skała ta okazuje najwięcej podobieństwa do materyału, z którego składa się największa część oblicza księżyca, ku ziemi zwróconego [8]).

Analiza spektralna pozwoliła rozpoznać, z jakich znanych na ziemi pierwiastków składają się ciała niebieskie. Nie jest to jedyna droga, na której możemy pokonać olbrzymią odległość, dzielącą nas od słońca lub gwiazd stałych i przyjrzeć się ich składowi. W obręb przyciągania ziemi bezustannie dostaje się materyał, którego pochodzenia należy szukać daleko poza granicami kuli ziemskiej, w niezmierzonej przestrzeni wszechświatowej, dzielącej jedne ciała niebieskie od drugich. Ten materyał kosmiczny, gdy już raz uległ przyciąganiu przez ziemię, staje się jej własnością. Przeważnie są to bardzo drobne ciałka, które spalają się zaraz w górnych warstwach powietrza, ale czasem zdarzają się między niemi i większe bryły, przebywające szczęśliwie atmosferę i spadające na powierzchnię ziemi. Tym to bryłom kamiennym, zwanym meteorytami lub aerolitami — zawdzięczamy, że możemy bezpośrednio dotknąć się związków chemicznych, z jakich zbudowane są ciała niebieskie i zbadać je równie dokładnie, jak skały ziemskie. Porównanie tych ostatnich z meteorytami potwierdza jednostajność materyi w wszechświecie, a tem samem dostarcza jednego dowodu więcej na korzyść teoryi Laplace'a.

W drodze dokoła słońca ziemia spotyka miliardy drobnych ciałek, które z ogromną chyżością wpadają w atmosferę. Wskutek tarcia o powietrze wnet rozżarzają się i poczynają świecić już na wysokości, dochodzącej do 100 km. Wówczas spostrzegamy na firmamencie świecące punkty, bardzo szybko poruszające się i znikające, a znane dobrze jako «gwiazdy spadające». Ich nazwa nieodpowiednia, a przecież tak powszechnie przyjęta, pochodzi stąd, że patrząc na to zjawisko, ma się łudzące wrażenie, jak gdyby jakaś gwiazda oderwała się nagle od sklepienia niebieskiego i chyżo spadała. Zazwyczaj owe ciałka kosmiczne są tak drobne, iż przy wysokiej temperaturze, do jakiej dochodzi ich rozgrzanie, ulatniają się i znikają bez śladu.

W pewnych porach roku zjawisko to występuje w zwiększonej obfitości i wtedy można widzieć całe roje gwiazd spadających, które napozór wychodzą zawsze z jednego i tego samego punktu na niebie, zwanego punktem promieniowania. Jednemu z takich rojów, który pojawia się między 9 a 13 sierpnia, lud nadał nazwę «łez św. Wawrzyńca». Jego punkt promieniowania leży w konstellacyi Perseusza i stąd wzięto dlań nazwę perseidów. Inne ważniejsze roje gwiazd spadających ukazują się w połowie listopada z konstellacyi Lwa (leonidy) i z końcem tegoż miesiąca z konstellacyi Andromedy (andromedaidy).

Roje gwiazd spadających nie każdego roku występują z jednakową świetnością. Deszcze gwiazd spadających zdarzają się peryodycznie, po upływie pewnego okresu, który dla każdego roju jest innym. Tak np. leonidy można obserwować co $33^1/_4$ lat w daleko większej liczbie aniżeli zwykle. Rój ten w latach 1799, 1833 i 1866 odznaczał się niebywałą obfitością i wspaniałością gwiazd spadających.

Pojawianie się gwiazd spadających w pewnych porach roku dowodzi, że miliony takich ciałek kosmicznych krążą po drogach, które krzyżują się z drogą ziemi. Gdy ziemia dochodzi o pewnej porze do punktu przecięcia, wówczas spotyka się z owemi drobnemi ciałkami i następuje zjawisko gwiazd spadających. Zaś peryodyczność w ich świetności wskazuje, że nie są na swojej drodze równomiernie rozmieszczone, ale w jednem miejscu zbite i skupione jakby rój lub chmura.

Schiaparelli (1866) wykrył związek, jaki zachodzi między drogami komet i gwiazd spadających, a za podstawę do tego posłużyły ciekawe losy komety Bieli, odkrytej w r. 1826. Powracała ona mniej więcej co $6^1/_2$ lat, ale za każdym razem kształt jej był inny; najpierw wydłużyła się, a potem rozpadła się na 2 części, które coraz bardziej oddalały się od siebie. Po r. 1852 nie pokazała się już więcej, a z końcem listopada 1872 miejsce oczekiwanej komety zajął obfity deszcz gwiazd spadających, jeden z najpiękniejszych, jakie wogóle znamy. Wkrótce udało się odszukać odpowiednie drogi komet i dla innych rojów, a mianowicie kwietniowego, perseidów i leonidów.

Wśród drobnych ciałek kosmicznych trafiają się czasem i takie, które posiadają większe rozmiary i bardziej zbliżają się do ziemi aniżeli gwiazdy spadające. Są to kule ogniste, czyli bolidy, koloru najczęściej czerwonawego lub zielonawego, których pozorna wielkość dorównywa niekiedy tarczy księżyca w pełni. Wskutek zjawisk świetlnych wydają się jednak o wiele większymi niż są w rzeczywistości. Bolidy posuwają się i znikają podobnie jak gwiazdy spadające bardzo szybko i zazwyczaj znaczą swoją drogę jasnym ogonem. Często zdarza się, że kula ognista pęka z hukiem i wysyła bryły kamienne, które jako meteoryty spadają na ziemię.

Że kamienie mogą spadać z nieba na ziemię, o tem wiedziano już bardzo dawno, ale wieki upłynęły, zanim nauka uznała istnienie podobnego zjawiska. W czasach starożytnych znano meteoryty i oddawano im cześć boską; taki to los spotkał bryłę, która spadła w r. 467 przed Chr. nad rzeką Aegospotamos w Tracyi. Fenicyanie czcili kamienie meteoryczne jako bóstwo Elagabale, Frygijczycy jako Cybelę czyli matkę bogów, a mieszkańcy Libyi jako Jowisza Ammona. Na monetach starożytnych z czasów rzymskich cesarzy widzieć można podobizny brył kosmicznego pochodzenia. Na Wschodzie była rozpowszechniona wiara w żelazo meteoryczne, które miało zapewniać zwycięstwo i chronić od ran. To też z niego władcy kazali sobie wykuwać broń. Jeszcze w średnich wiekach wierzono, że kamienie meteoryczne mogą się poruszać o własnej sile; umieszczano je w świątyniach i tam przykuwano silnymi łańcuchami. U dzikich ludów cześć dla meteorytów przechowała się aż do najnowszych czasów.

Przez długi szereg wieków najwybitniejsze umysły zaprzeczały możliwości spadania kamieni i nie cofały się przed najniedorzeczniejszymi pomysłami, aby wytłómaczyć pochodzenie meteorytów. W r. 1790 spadły meteoryty w Ju-

illac (Gaskonia), ale protokół, spisany przez miejscową władzę, akademia paryska przyjęła z drwinami. Nie wierzono także znakomitemu fizykowi ówczesnemu Chladniemu, który w 4 lata później stanowczo bronił kosmicznego pochodzenia meteorytów. Aż kiedy 26 kwietnia 1803 spadły meteoryty w Laigle (Francya, dep. Orne), akademia paryska postanowiła kwestyę spadania kamieni z nieba ostatecznie rozstrzygnąć. Wysłany przez tę akademię fizyk Biot zbadał na miejscu jak najdokładniej wszelkie szczegóły zjawiska i w swem sprawozdaniu niezbicie udowodnił, że rzeczywiście kamienie spadają z nieba na ziemię. Odtąd dopiero nauka uznała kosmiczne pochodzenie meteorytów.

Meteoryty wpadają w atmosferę ziemską z ogromną chyżością, wynoszącą 30—60 km na sekundę [9]). Przy tak gwałtownym ruchu opór powietrza wytwarza znaczną ilość ciepła i powoduje szybkie rozżarzanie się. Tylko dzięki krótkiemu trwaniu zjawiska meteoryty nie zostają stopione i rozpylone w atmosferze. Pokrywają się natomiast podczas swej drogi przez atmosferę czarną, przepaloną korą, na której opór powietrza wyrzeźbia bardzo charakterystyczne zmarszczki i zagłębienia, jakby palcem wyciśnięte. Ta kora pochodzi stąd, że podwyższenie temperatury ogranicza się tylko do zewnętrznej warstewki, podczas gdy wewnątrz meteoryty zachowują bardzo nizką temperaturę przestrzeni międzyplanetarnej, która to temperatura według Pouillet'a ma wynosić — 146° C. Z powodu tarcia o powietrze zmniejsza się wprawdzie chyżość spadających meteorytów, ale mimo to uderzają o ziemię z ogromną siłą i często zapadają się dość głęboko.

Gwałtowne ściśnięcie powietrza jest powodem huku, jaki towarzyszy spadaniu kamieni meteorycznych. Słyszeć go można w oddaleniu 100 km, a nawet jeszcze dalej, poczem następuje szum. Czasem zdarza się, że meteoryt z trzaskiem pęka na kilka kawałków. Przelatujący przez atmosferę meteoryt pozostawia na swej drodze wiele pyłu. W dzień widać ten pył jako chmurkę lub ogon, w nocy natomiast tworzy wspaniałą smugę świetlną, która bywa widzialna na setki km i trwa niekiedy przez dłuższy czas.

Meteoryty spadają na ziemię bądź pojedynczo, bądź też jako deszcz kamieni na większym obszarze. W ogromnej ilości spadły kamienie 30 stycznia 1868 w okolicy Pułtuska. Samo Muzeum przyrodnicze w Paryżu posiada stamtąd 950 kawałków. Na zwyż 100 tys. oceniają liczbę meteorytów, które spadły 3 lutego 1882 w Mocs (Siedmiogród). Równie rozmaitą, jak liczba spadających naraz meteorytów, jest także ich wielkość. Za największe wogóle znane uchodzą: Meteoryt kamienny (294 kg), który spadł w Knyahinya na Węgrzech 9 czerwca 1866 i jest przechowywany w Muzeum Nadwornem we Wiedniu, zaś z meteorytów żelaznych [10]) bryła z Cranbourne, ważąca 3700 kg, a będąca własnością Britich Museum w Londynie. Od największych kamieni mamy wszystkie możliwe przejścia aż do pyłu. W Hessle koło Upsali (1 stycznia 1869) spadły meteoryty na śnieg i dzięki temu można było znaleźć nawet bardzo drobne cząsteczki, których ciężar wynosił zaledwie 0,06 g. Czarny

deszcz pyłu kosmicznego nawiedził w r. 1819 Montréal w Kanadzie; towarzyszył mu huk jakby wystrzałów armatnich, a zupełną ciemność od czasu do czasu przerywała nagła jasność. Gdzie brak trwałej szaty śnieżnej, tam trudno wykryć pył kosmiczny. Natomiast znalazł go Nordenskjöld w krainie wiecznych lodów, Grenlandyi i nazwał kryokonitem.

Ze względu na skład chemiczny meteorytów można wyróżnić 2 zasadnicze typy, między którymi istnieją przejścia. Jedne składają się prawie z czystego żelaza, inne znowu są zbudowane z rozmaitych połączeń mineralnych i przypominają skały ziemskie. Daubrée podzielił meteoryty na następujące rodzaje:

1. Holosyderyty, pozbawione domieszek kamiennych, składają się z tak czystego żelaza, iż można je wprost przerabiać, jak to czynią Eskimosi i mieszkańcy Madagaskaru, którzy z meteorytów żelaznych sporządzają broń i narzędzia. Żelazo z tych meteorytów zawiera trochę niklu, obok którego wykryto także nieznaczną przymieszkę rzadkich metali. W meteorycie, który spadł w Caille, znaleziono 92,7% żelaza i 5,6% niklu. Żelazo meteoryczne wypolerowane i polane kwasem azotowym okazuje na wygładzonej powierzchni linie, które przecinają się pod kątem 60° i swym układem przypominają geometryczną postać ośmiościanu. Te t. zw. «figury Widmanstaettena» polegają na tem, że żelazo czyste łatwiej, a połączone z niklem trudniej zostaje nagryzione przez kwas azotowy. Widocznie objawia się tutaj ustrój (struktura) krystaliczny i stąd pochodzi taka regularność figur Widmanstaettena.

2. Syssyderyty tworzą przejście od meteorytów żelaznych do kamiennych. Najbardziej znanym przedstawicielem tej grupy jest bryła, którą Pallas znalazł w Syberyi koło Krasnojarska. Wśród masy żelaznej, która tworzy jakby gąbkę, znachodzą się wpryśnięte ziarna krzemianów [11]) (oliwin, po części augit). W następnej grupie

3. Sporadosyderytów stosunek krzemianów do żelaza jest odwrotny. U tych w masie kamiennej występuje żelazo w ziarnach rozmaitej wielkości. Stosownie do zawartości żelaza można je podzielić na 3 rodzaje:

a) Polisyderyty zawierają najwięcej żelaza, a mianowicie w równej ilości z masą mineralną.

b) Oligosyderyty, do których można zaliczyć przeważną część znanych meteorytów. Swym wyglądem przypominają wybuchową skałę ziemską, trachit w drobnoziarnistych odmianach. Często ich struktura przedstawia zbiór kuleczek i na tej podstawie nazwano je także chondrytami. Wreszcie u

c) Kryptosyderytów żelazo metaliczne odgrywa bardzo małą rolę. Ich skład (minerały: oliwin, anortyt, augit, glinka, magnetyt) przypomina lawy wulkaniczne z Etny i Islandyi.

4. Asyderyty, które znane są tylko w 4 wypadkach, odznaczają się zupełnym brakiem żelaza rodzimego. Natomiast zawierają rozpuszczalne sole i chemicznie związaną wodę.

Dotychczasowe analizy wykryły w meteorytach obecność następujących pierwiastków, które bez wyjątku znamy i na ziemi: żelazo, magnez, krzem, tlen, nikiel, kobald, chrom, mangan, tytan, cynę, miedź, glin, potas, sód, wapń, arsen, fosfor, azot, siarkę, chlor, węgiel (po części jako grafit lub dyament) i wodór (także w stanie wolnym). Uderzającem jest, że najobficiej występują w meteorytach te same pierwiastki, które i na ziemi należą do najbardziej rozpowszechnionych, a mianowicie krzem, żelazo i tlen. Poprzednio wyliczone pierwiastki tworzą w meteorytach rozmaite związki chemiczne, które w niczem nie różnią się od minerałów ziemskich, jak oliwin, augit, enstatyt, bronzyt, plagioklaz (anortyt, rzadziej labradoryt), żelazo chromowe, magnetyt i węglowodory. Z tych minerałów najbardziej rozpowszechnionym jest w meteorytach oliwin, który wchodzi w skład ziemskich skał wybuchowych i law wulkanicznych. Inne znowu połączenia, np. żelazo z niklem, są na ziemi w bezpośrednio dostępnych granicach dotąd nieznane. Ale musimy pamiętać o tem, że nasza znajomość budowy i składu kuli ziemskiej ogranicza się zaledwie do stosunkowo bardzo cienkiej zewnętrznej warstewki. Wobec tego jest prawdopodobnem, że i te związki istnieją na ziemi, ale są ukryte głęboko w jej wnętrzu i dla naszego badania niedostępne.

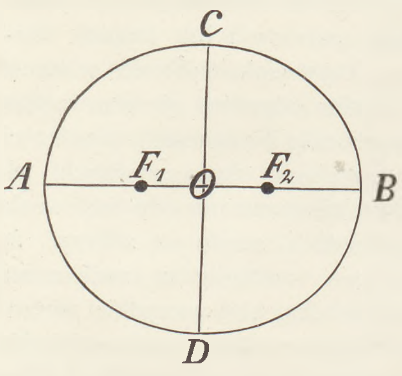
Że meteoryty spadają na ziemię z odległych przestrzeni wszechświata, nie ulega wątpliwości, ale nasuwa się dalsze pytanie: jaki jest ich początek? Najlepiej wyjaśnił to Tschermak. Każde ciało niebieskie w swym rozwoju przechodzi okres, w którym siły wulkaniczne dochodzą do wysokiego stopnia. O takiem spotęgowaniu czynności wybuchowej, wobec którego nikną wulkany ziemskie, świadczą gwałtowne eksplozye gazów na słońcu, nagłe zajaśnianie gwiazd poprzednio niewidzialnych (t. zw. «nowe gwiazdy») lub wygasłe kratery księżyca. Nadzwyczaj silne wybuchy gazów, które ciało niebieskie w stanie ognisto-płynnym pochłonęło, a wśród których wodór odgrywał pierwszorzędną rolę, odrywały kawałki skrzepłej skorupy i wyrzucały do znacznej wysokości Te zjawiska wybuchowe polegały wyłącznie na rozbiciu skał sztywnych, ich rozgrzaniu i przemianie pod działaniem ciepła; nie towarzyszyły im wcale wylewy roztopionej lawy. U małych ciał niebieskich mogło się zdarzyć, że wskutek szybkiego stygnięcia objawy wybuchowe wystąpiły ze zwiększoną energią, zaś siła ciężkości nie była dostatecznie wielką, aby wszystkie wyrzucone odłamy zmusić do spadania napowrót. W ten sposób ciało niebieskie traciło niepowrotnie coraz więcej odłamów i rozsiewało je po swej drodze, aż wreszcie rozpadło się zupełnie na niezliczoną ilość kawałków. Jego szczątki posuwają się po rozmaitych drogach w wszechświecie i od czasu do czasu spadają na ziemię jako meteoryty.

Skoro meteoryty są szczątkami ciał niebieskich, to z ich dokładnego zbadania możemy sobie wyrobić przynajmniej słabe pojęcie o budowie owego ciała, z którego powstały. Niewątpliwie było ono kulą, zbudowaną z warstw spółśrodkowych, których gęstość wzrastała z głębokością. Zewnątrz skorupa

musiała być zbudowana ze skał najlżejszych i dostarczyła kamieni meteorycznych, zawierających glinkę i krzemionkę. Pod tą skorupą należałoby szukać źródła meteorytów, złożonych przeważnie z cięższego od poprzednich oliwinu. Jeszcze głębiej znachodziłyby się skały, których próbkami są meteoryty, zbudowane po części z metalicznego żelaza (syssyderyty), a w samym środku wypadałoby umieścić prawie czyste żelazo (holosyderyty).

W ostatnich czasach odkryto nowy rodzaj meteorytów. W Czechach (koło Budziejowic), na Morawie (koło Trebitsch), a także w Australii i na wyspach Sundajskich znachodzono w wielkiej ilości kawałki czarnej lub zielonawej masy szklistej, uderzająco podobnej do obsydyanu. W Czechach i na Morawie znane były już oddawna pod nazwą moldawitów lub «Bouteillensteine». Ich właściwem łożyskiem są żwiry bardzo młodego wieku geologicznego, skąd dostają się niekiedy do ziemi ornej. Moldawity mają kształt odłamków nieregularnych, kańczastych lub skorupowatych, po części są tarczowate lub kuliste. Najbardziej uderza ich powierzchnia, która, o ile nie jest nadwietrzałą — przedstawia zagłębienia i bruzdy, właściwe jedynie meteorytom. Wiele względów przemawia za kosmicznem pochodzeniem moldawitów. To też po dokładnem zbadaniu Fr. E. Suess uznał je za nowy rodzaj meteorytów, zupełnie odmienny od dotychczas znanych, a najprawdopodobniej pochodzący z wulkanów księżyca.

Ogół zjawisk, z jakiemi mamy do czynienia na powierzchni kuli ziemskiej, pozostaje w najściślejszej zależności od słońca. Stamtąd pochodzą dwa najważniejsze czynniki, które w rozwoju ziemi tak wielką odegrały rolę: ciepło i światło.



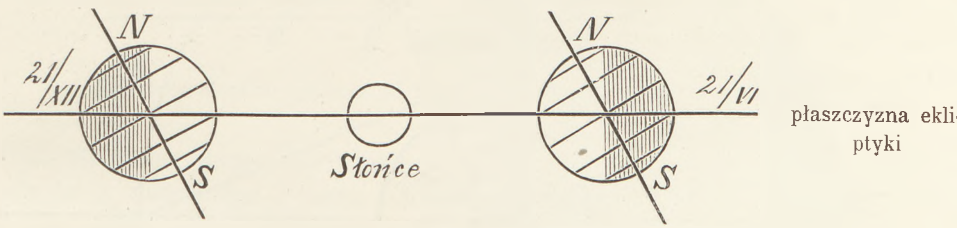
Elipsa (*AB*, wielka oś; *CD*, mała oś; F_1 F_2, ogniska; $OF_1 = OF_2$, ekscentryczność).

Jako planeta, należąca do systemu słonecznego, ziemia okrąża słońce, zataczając elipsę, która wobec niewielkiej stosunkowo ekscentryczności zbliża się bardzo do koła. Słońce zajmuje jedno z ognisk elipsy, to też jego odległość od ziemi nie jest przez cały rok jednakową. Największe oddalenie ziemi od słońca (aphelium) wynosi 150 milionów km, a w położeniu najbliższem słońca (perihelium) zmniejsza się o 5 milionów km. Z tego wynika, że ekscentryczność drogi ziemskiej wynosi 0,017. Ale wartość ta nie jest stałą i w ciągu bardzo długich okresów różnica między największem i najmniejszem oddaleniem ziemi od słońca waha się w obszernych granicach od 0,9 aż do 22 milionów km.

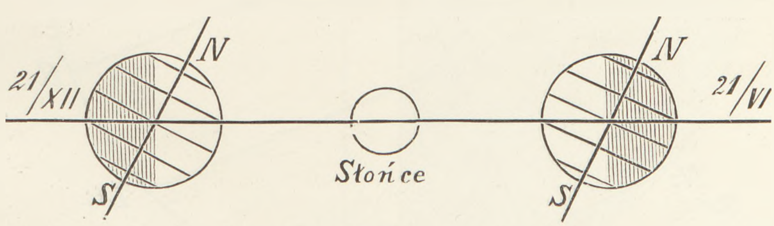
Jeżeli wyobrazimy sobie, że droga ziemska i słońce leżą na jednej płaszczyźnie, zwanej ekliptyką, to oś, dokoła której obraca się ziemia, nie stoi pionowo na owej płaszczyźnie. Zboczenie osi ziemskiej od pionowego położe-

nia wynosi 23°27′, czyli oś ziemi nachylona jest do ekliptyki pod kątem 66°33′. I ten kąt nie pozostaje zawsze takim samym jak obecnie (23°27′), ale z biegiem dłuższych okresów [12]) zmienia się między 22° a 24·6°.

Oś ziemska zmienia powoli swe położenie względem słońca. 21 czerwca biegun północny jest zwrócony ku słońcu i wtedy półkula północna ma lato. Po upływie około 13.000 lat w tym samym punkcie będzie się rzecz miała odwrotnie. Wówczas biegun północny będzie odwrócony od słońca i o tej porze na naszej półkuli będzie panować zima. Po mniej więcej 25.800 latach powróci stan dzisiejszy. W ten sposób odbywa się ruch osi ziemskiej, który nazywamy precesyą, a który ma doniosłe znaczenie dla rozmieszczenia ciepła na ziemi. Chyżość, z jaką kula ziemska porusza się po ekliptyce, zależy od odległości słońca. Gdy ziemia znajduje się dalej od niego, to



a) stan obecny.



b) po upływie około 13.000 lat.

Precesya osi ziemskiej (*N*, północny — *S*, południowy biegun).

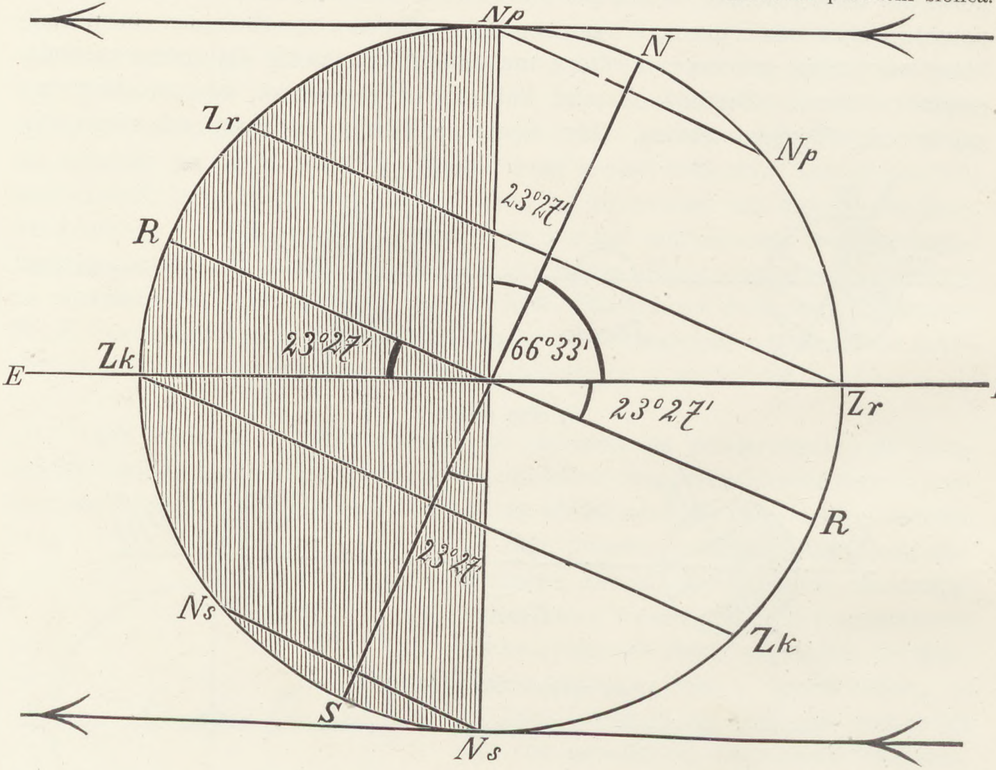
szybkość jest mniejszą, a wzrasta w miarę zbliżania się ziemi do tej części drogi, która leży najbliżej słońca. Tę przestrzeń, gdzie dziś mamy na północnej półkuli lato, ziemia przebywa ze zmniejszoną chyżością i stąd lato jest u nas prawie o 8 dni dłuższe od zimy. Zaś na półkuli południowej mamy wprost przeciwny stosunek. Tam lato panuje w blizkości słońca, a wskutek zwiększonej szybkości ruchu ziemi trwa o 8 dni krócej niż zima. Za 13 tys. lat będzie odwrotnie: u nas zima będzie dłuższą, a na południowej półkuli krótszą od lata.

Położenie względem słońca rozstrzyga o rozmieszczeniu ciepła na ziemi i sprowadza rozmaitość stref klimatycznych. W dzień powierzchnia ziemi ogrzewa się, a podczas nocy oziębia. Ilość ciepła, jaką powierzchnia ziemi otrzymuje od słońca, zależy od stosunku długości dnia i nocy. Wskutek po-

chylenia osi ziemskiej tylko na równiku przez cały rok dzień równa się nocy. Dalej od równika, ku biegunom, już tylko w dwóch dniach (21 marca i 23 września) do roku dzień jest równy nocy, a im bliżej kół podbiegunowych, tem ostrzejszą staje się różnica w trwaniu dnia i nocy. Poza kołami podbiegunowemi, w strefie polarnej, dzień i noc trwają po kilka (1—6) miesięcy.

Ilość ciepła, jaką ziemia dostaje od słońca, zależy również od kąta, pod

Kierunek promieni słońca.

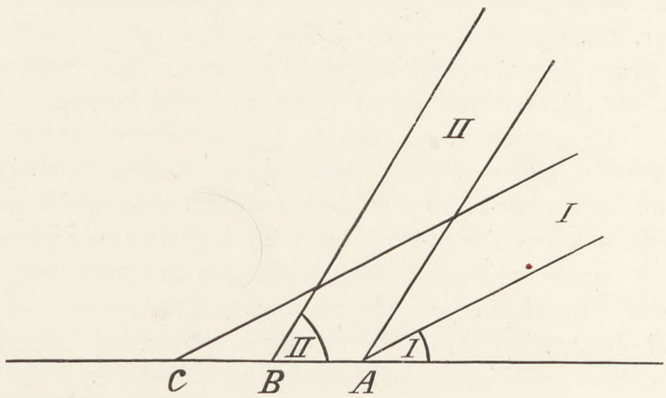


Kierunek promieni słońca.

E E, płaszczyzna ekliptyki; *NS*, oś obrotu ziemi: *N*, północny biegun; *S*, południowy biegun; *R R*, równik; *Zr Zr*, zwrotnik Raka; *Zk Zk*, zwrotnik Koziorożca; *Np Np*, północne koło podbiegunowe; *Ns Ns*, południowe koło podbiegunowe.

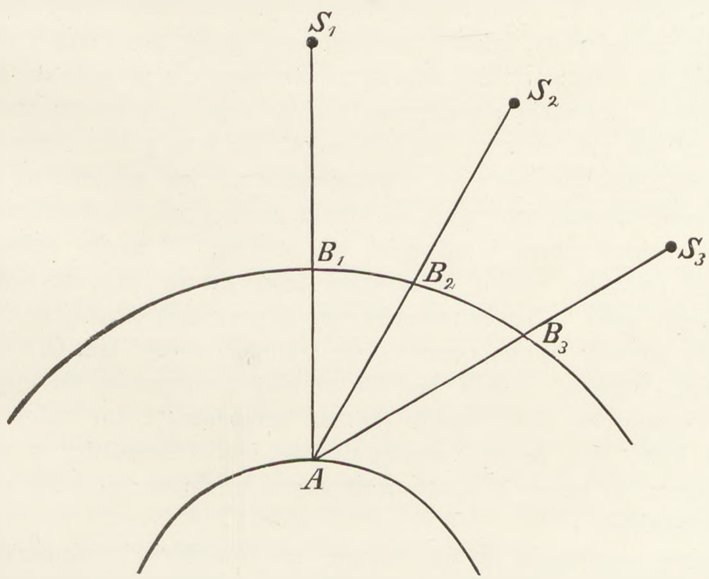
jakim są nachylone promienie słoneczne. W I-szym wypadku (por. rys. na str. 21) promienie trafiają powierzchnię pod mniejszym kątem, muszą więc ogrzać większy obszar *(AC)*. W II-gim wypadku ten sam pęk promieni pada mniej skośnie i ma wskutek tego mniejszą powierzchnię *(AB)* do ogrzania. Jest rzeczą jasną, że gdy ta sama ilość ciepła rozdziela się raz na większą, a drugi raz na mniejszą przestrzeń, to w drugim wypadku będzie ogrzanie silniejszem niż w pierwszym. Na równiku słońce stoi bardzo wysoko, to też jego pro-

mienie są nachylone pod kątem największym na całej kuli ziemskiej. Im dalej od równika, tem skośniej promienie słońca trafiają powierzchnię ziemi; w po-



Zależność stopnia ogrzania od kąta, pod jakim padają promienie słoneczne

bliżu biegunów słońce wprawdzie przez kilka miesięcy, a nawet pół roku nie schodzi z widnokręgu i przez tak długi czas bez przerwy może ogrzewać po-



wierzchnię ziemi, ale zato jego promienie padają niemal poziomo i wskutek tego nadzwyczaj słabem jest ich działanie.

Jest jeszcze jedna okoliczność, która przyczynia się do tego, że wyższe szerokości geograficzne tak mało ciepła od słońca otrzymują. Promienie słoneczne, przechodząc przez atmosferę, tracą pewną część energii cieplnej. Im

niżej słońce wznosi się ponad horyzontem, tem dłuższą drogę przez atmosferę muszą przebywać jego promienie i tem mniejszy zapas ciepła przynoszą na powierzchnię ziemi. Niech promienie słońca padają pod rozmaitym kątem na punkt *A* (por. rys. na str. 21). Gdy słońce znajdzie się w najwyższym punkcie nieba, w zenicie (S_1), to droga jego promieni od B_1 do *A* przez atmosferę jest najkrótszą. W niższem położeniu (S_2) słońca, droga promieni przez atmosferę (od B_2 do *A*) jest większą, a jeszcze większą (B_3 *A*), skoro słońce obniży się do S_3.

Skoro położenie względem słońca rozstrzyga o rozmieszczeniu ciepła na powierzchni ziemi, to i owe zmiany w nachyleniu osi ziemskiej i w ekscentryczności jej drogi, o których poprzednio była mowa, nie mogą pozostać bez wpływu. Niektórzy uczeni próbowali temi zmianami uzasadnić przesunięcia, jakim ulegały strefy klimatyczne w ciągu minionych epok geologicznych. Tak np. podczas epoki dyluwialnej, która bezpośrednio poprzedziła obecną, lody posunęły się z okolic podbiegunowych daleko ku południowi, skorupą na kilkaset m. grubą pokryły całą północną Europę i w naszym kraju oparły się aż o Karpaty i północną krawędź Podola. Przedtem zaś, jak o tem świadczą obfite szczątki roślin w pokładach trzeciorzędnego wieku na Szpicbergu, Ziemi Grinella i w Grenlandyi, klimat cieplejszy, podobny do naszego, sięgał daleko ku północy, aż po 80° szerokości geogr.

Wpływ słońca na powierzchnię ziemi wywołuje cały szereg zjawisk: krążenie i zamarzanie wody, zmiany temperatury, prądy powietrza i mórz i t. d. Nie wszędzie na kuli ziemskiej objawy te występują z jednakową siłą: skutki działania słońca zmieniają się odpowiednio do tego, czy znajdujemy się koło równika, czy też zbliżamy się ku biegunom. Na tem polega rozmaitość stref klimatycznych. Zupełnie ścisłe ich odgraniczenie nie jest możebnem, gdyż obok szerokości geograficznej wpływają na klimat pewnej miejscowości także wzniesienie nad poziom morza i odległość od oceanu. W miarę wznoszenia się wzrasta ilość rocznego opadu, a zarazem temperatura staje się coraz niższą. To też wysokie góry w pasie umiarkowanym posiadają klimat, który nie różni się od strefy zimnej. Woda ogrzewa się trudniej aniżeli ląd, a także oziębia się powolniej. Blizkość morza łagodzi zmiany temperatury na lądzie i sprowadza zwiększenie się ilości opadu (klimat oceaniczny). Im dalej posuwamy się w głąb lądu, tem ostrzej występują różnice temperatury w ciągu roku, tem silniejszymi są mrozy i upały, a zarazem zmniejsza się ilość wilgoci (klimat kontynentalny).

W miarę posuwania się od bieguna ku równikowi temperatura podnosi się i zwiększa się średnia wysokość rocznego opadu. W strefie polarnej ilość opadu zaledwie dochodzi 25 cm rocznie, pod 50° szer. geogr. zwiększa się do 50 cm, pod 40° szer. mamy już 150 cm, a najwięcej deszczu, bo 200—250 cm rocznie, przypada na kraje, położone między zwrotnikami.

W obrębie kół podbiegunowych leży strefa zimna (polarna). Im bliżej bieguna, tem dłużej trwa noc; przez całe miesiące słońce nie podnosi się po-

nad widnokręgiem. Podczas krótkiego a chłodnego lata promienie słoneczne padają bardzo ukośnie i nie zdołają stopić grubej skorupy lodów, pokrywającej krainy polarne. Wiecznie zamarznięta ziemia taje letnią porą tylko do niewielkiej (1—1$^1/_2$ m) głębokości i pokrywa się mchami i porostami (syberyjska «tundra»). W Jakucku w głębokości około 6 m temperatura ziemi nie podnosi się ponad —10°. Z małymi wyjątkami strefa zimna posiada mało opadu i suchą atmosferę.

Zupełnym przeciwieństwem poprzedniej jest strefa zwrotnikowa (tropikalna). Najniższy stan słońca ponad widnokręgiem jest zawsze jeszcze wyższym, aniżeli u nas najwyższy z początkiem lata. Im bliżej równika, tem mniej występuje w ciągu roku różnica w długości dnia i nocy. Również niema tu przeciwieństwa zimnej i gorącej pory roku. Miejsce ich zajmują jedna lub dwie do roku pory deszczów, przegrodzone suszami, a ich peryodyczny powrót odznacza się nadzwyczajną regularnością. Do wysokiej temperatury przyłącza się ogromna wilgotność. Jawa posiada 4670, Mahrableszwar (Indye Wschodnie) 6570, a Cherrapoonjee (na północ od Kalkutty) aż 14200 mm rocznego opadu. W ślad za tem strefa tropikalna odznacza się najbujniejszą na całej ziemi szatą roślinną.

Przejściem między zimną i gorącą są strefy umiarkowane, położone na obu półkulach między zwrotnikami a kołami podbiegunowemi. Te równoleżniki nie tworzą ścisłej granicy pasu umiarkowanego; od południa sięga wpływ strefy gorącej, a ku północy daje się uczuć blizkość okolic polarnych Strefę umiarkowaną w przeciwieństwie do gorącej cechuje szybka zmienność i wielka nieregularność stosunków meteorologicznych. Wyraźnie występuje zmiana pór roku, a zależnie od nich opadem jest deszcz lub śnieg. W górach przez cały rok, a na niżej położonych obszarach w zimie panuje klimat, niewiele różniący się od polarnego.

Prawo zwiększania się ilości opadu ku równikowi doznaje nagłej przerwy na granicy strefy umiarkowanej i gorącej. Z strefy umiarkowanej przez mniej wilgotne stepy trawiaste przechodzimy do pustyń, które na obu półkulach (30—40° północnej i 20—30° południowej szerokości) ciągną się pasami dokoła ziemi. Suche prądy powietrza przynoszą mało wilgoci, a tę w zupełności pochłania szybkie parowanie, powodując bezodpływowość krain pustynnych. Wyżyny, położone w środku kontynentów (np. środkowa Azya, zachodnia część Ameryki Północnej), są zazwyczaj pustyniami, bo otaczające je łańcuchy górskie zabierają prądom powietrza cały zapas wilgoci.

Strefom klimatycznym odpowiadają różne czynniki geologiczne. W krajach polarnych lody śródlądowe są najważniejszym czynnikiem, działającym na skorupę ziemską. W pasie umiarkowanym zjawia się woda, ku południowi w coraz większej obfitości. Równocześnie jednak rozwija się inny czynnik, który chroni skorupę ziemską przed niszczącą siłą bieżącej wody: bujna ro-

ślinność okolic zwrotnikowych. W pustyniach najważniejszym czynnikiem geologicznym są wiatry.

Kształt ziemi nie jest ściśle kulistym, ale oddala się od postaci geometrycznej wskutek spłaszczenia na obu biegunach. Zdawałoby się na pozór, że, gdybyśmy przecięli lądy gęstą siecią kanałów, połączonych z morzem — to powierzchnia wód dałaby nam figurę geometryczną, zwaną elipsoidem lub sferoidem obrotowym (rotacyjnym) o krótszej osi biegunowej. Ale bliższe zbadanie nieregularności poziomu morza wykazało, że powierzchnia wód oceanicznych nie odpowiada całkiem dokładnie powierzchni sferoidu. Bryła ziemska ma kształt, zwany geoidem, którego zboczenia od elipsoidu obrotowego tej samej objętości według najnowszych (1899) badań Helmerta obracają się w granicach $\pm$ 100 m. Bessel podał następujące wymiary ziemi dla idealnego sferoidu:

promień równika	6377,4	km
» biegunowy	6356,1	»
różnica obu promieni	21318	m
spłaszczenie	$\frac{1}{299}$	
powierzchnia	509950714	km²
objętość	1083 miliardów	km³

Najnowszego obliczenia średniej gęstości ziemi dokonali Richarz i Krigar-Menzel (1896). Do swoich eksperymentów użyli dwóch wag, zawieszonych jedna nad drugą. Między szalami umieścili bardzo ciężką masę i zmierzyli przyciąganie, jakie ta masa wywierała na szalę górną i dolną. Stąd obliczyli, że średnia gęstość ziemi wynosi 5,505.

Ziemia otoczona jest dokoła grubą warstwą powietrza, astmosferą. Gwiazdy spadające zapalają się i świecą wskutek tarcia, jakie powstaje przy ich zetknięciu się z powietrzem. Gdy obliczono wysokość, w której ukazują się gwiazdy spadające, przekonano się na tej drodze, że przynajmniej do wysokości 80—120 km sięga bardzo rozrzedzone powietrze, bo już tam mogą się zapalać owe drobne ciałka kosmiczne. Z trwania zmierzchu w krajach zwrotnikowych obliczono grubość atmosfery na 380 km.

Z pośród oceanicznych zbiorników wody sterczy skorupa ziemska (litosfera) jako stały ląd. Oto parę cyfr, które podają głębokość, do jakiej człowiek zdołał dotrzeć w głąb litosfery:

Otwory świdrowe.

Friedrichsaue (koło Aschersleben)	1080,22	m
Inowrocław	1104,65	»
Sennewitz (koło Halle a. S.)	1111,45	»

Lübtheen (Mecklenburg)	1203,70	m
Sperenberg (na południe od Berlina)	1273,01	»
Eu koło Stassfurtu	1293,40	»
Lieth (koło Altony)	1338,00	»
Schladebach (koło Merseburga)	1748,40	»
Paruszowice (Śląsk)	2003,00	»

Szyby.

Ronchamp (Francya, dep. Haute—Saône)	1010	m
Szyb Wojciecha w Przybramie (w r. 1883) . . .	1070,2	»
St. Henriette koło Flenu (Belgia)	1150	»
Red Jacket (Calumet, Ameryka Północna)	1494	»
Prinzess Dagmar (Australia)	1597	»

Wielkość powyższych cyfr znika w porównaniu z rozmiarami ziemi. Najgłębszy otwór świdrowy w Paruszowicach przedstawia zaledwie $\frac{1}{3200}$ promienia ziemskiego.

Do największej wysokości (8840 m nad poziomem morza) dochodzi ląd stały w szczycie Gaurisankar w Himalajach, a w największej depressyi kontynentalnej, jaką tworzy dolina Jordanu z Morzem Martwem, opada aż 400 m poniżej poziomu morza. Heiderich (1891) obliczył średnią wysokość, do jakiej wznosiłyby się kontynenty, jeżeliby wszystkie zagłębienia i wyniosłości na nich zostały wyrównane.

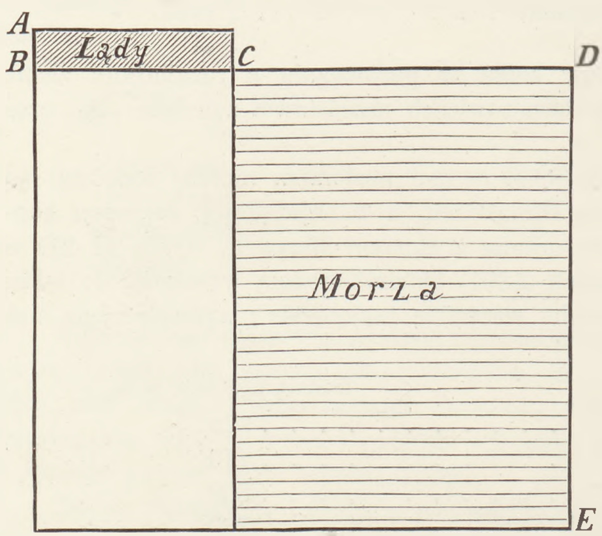
	Średnia wysokość w m
Europa	375
Australia	470
Afryka	602
Ameryka Południowa	760
» Północna	830
Azya	920
Lądy ogółem	744

Wody (hydrosfera) zajmują największe zagłębienia na ziemi jako oceany, połączone ze sobą cieśninami. Przez hydrosferę należy właściwie rozumieć nietylko morza, ale obok nich także jeziora i całą sieć rzeczną, która przerzynając lądy we wszystkich kierunkach, spływa do oceanicznych zbiorników wody. Według obliczeń Wagnera z całej powierzchni ziemi przypada 28,3% na ląd, a 71,7% na wodę. Obszar kontynentów pozostaje zatem do oceanów w stosunku 1 : 2,54. Morze rozlewa się po większej części na południowej półkuli i stąd wysyła ku północy trzy oceany: Indyjski, Atlantyk i północną część Spokojnego, które jakby olbrzymie zatoki wciskają się pomiędzy ląd stały, skupiony przeważnie na północnej półkuli.

Do największej dotąd znanej głębokości obniża się dno morza na północny wschód od Nowej Zelandyi. Tu znajdują się dwie głębie: rów Tonga (9184 m) i rów Kermadeck (9427 m). Podobnie jak średnią wysokość lądów, obliczono także dla oceanów średnią głębokość. Karstens (1894) podał następujące cyfry:

Ocean Atlantycki	3160 m
» Indyjski	3590 »
» Spokojny	3830 »
Oceany razem wzięte	3500 «

Wody oceaniczne wypełniają 1286 milionów km³. Lądy, które sterczą ponad poziomem morza, mogłyby wypełnić swą masą zaledwie $\frac{1}{20}$ zagłębień oceanicznych. A gdyby wszelkie nierówności na powierzchni ziemi zostały wyrównane, to wówczas ocean pokryłby całą ziemię jednostajną powłoką na 2500 m grubą.



Porównanie wielkości mórz i lądów.
AB, średnia wysokość lądów; *DE*, średnia głębokość mórz; BC^2, powierzchnia lądów; CD^2, powierzchnia mórz.

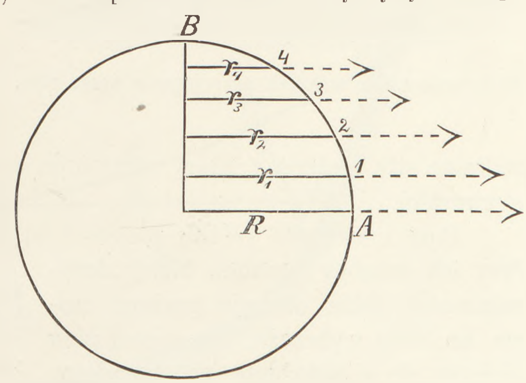
Ziemia przyciąga wszystkie ciała, jakie się na niej znajdują. Siła ciężkości nie działa na kuli ziemskiej wszędzie z jednakowem natężeniem. Przyciąganiu przez ziemię przeciwdziała siła odśrodkowa, która powstaje wskutek obrotu ziemi dokoła osi. Wielkość siły odśrodkowej zależy wprost od promienia równoleżnika. To też będzie największą na równiku, którego promień (R) jest największym, a maleje ku biegunom w miarę zmniejszania się promieni równoleżników $(r_1, r_2, r_3$ i t. d., por. rys. str. 27). Przytem należy uwzględnić i tę okoliczność, że wskutek spłaszczenia ziemi bieguny są bliższymi jej środka, aniżeli miejsca na równiku. Tak więc zmniejszanie się siły odśrodkowej z oddaleniem od równika i spłaszczenie ziemi sprawiają, że siła ciężkości jest największą na biegunach, a najmniejszą na równiku.

Do zmierzenia natężenia siły ciężkości służy wahadło. Jego wahnienia odbywają się tem prędzej, im silniej działa siła ciężkości, a zatem im bliżej środka ziemi je umieścimy. Gdybyśmy wahadło sekundowe, t. j. takie, którego jedno wahnienie odbywa się w ciągu 1 sekundy, przenieśli z równika na

biegun, to, aby otrzymać ten sam czas wahnienia, należałoby długość wahadła odpowiednio zwiększyć.

Kierunek, w jakim działa przyciąganie ziemi, jest pionowy, a wskazuje go pion. W pobliżu mas silnie przyciągających, np. wysokich gór, pion zbacza od kierunku pionowego. Kąt, o jaki pion zostaje odchylony, wynosi na stokach Chimborasso 7—8″, u podnóża Harcu 11″, a u stóp Kaukazu 35,8″. Podobny wpływ wywierają na kierunek pionu ukryte pod powierzchnią ziemi skały o gęstości większej, aniżeli otaczające, i mogą powodować zboczenie pionu na zupełnej równinie. (Por. rys. na str. 28).

Wahadło i pion obok igły magnetycznej, na którą oddziaływają skały wybuchowe i zaburzenia warstw, mogą często wykryć niewidoczne nawet na zewnątrz szczegóły w budowie skorupy ziemskiej. Dzięki dokładnym obserwacyom nad wahadłem stwierdzono, że skorupa ziemska zbudowana jest pod kontynentami z mas mniej gęstych, anżeli pod morzami. Przyczyny takiego rozkładu mas należałoby szukać najprawdopodobniej w tem prawie fizycznem, że gęstość ciał zmniejsza się w miarę wzrostu temperatury. W głębiach morskich panuje temperatura blizka punktu zerowego. Natomiast na kontynentach temperatura wzrasta w głąb ziemi i w głębokości kilku tysięcy m, a więc w tej samej, gdzie w oceanach panuje nizka temperatura, pod lądem stałym dochodzi do kilkuset stopni powyżej zera.

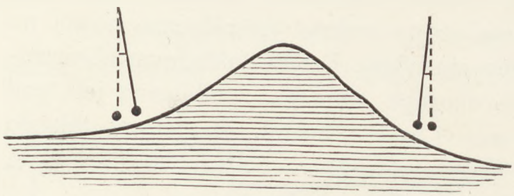


Zmniejszanie się siły odśrodkowej od równika ku biegunom.

Gdyby ziemia była ciałem jednostajnie zbudowanem, to siła ciężkości ulegałaby zmianom tylko zależnie od szerokości geograficznej i wzniesienia nad poziomem morza. Posiadamy wzory matematyczne, zapomocą których możemy obliczyć natężenie siły ciężkości dla każdej szerokości geograficznej i każdej wysokości nad poziomem morza. Ale pomiary, wykonane wahadłem, bardzo często nie zgadzają się z teoretycznemi obliczeniami i natężenie siły ciężkości bywa za wielkiem lub za małem. Świadczy to, że pod powierzchnią ziemi rozkład mas nie jest jednostajnym; tu istnieje nadmiar, gdzieindziej znowu niedomiar. Te nieregularności pozostają w ścisłym związku z budową geologiczną. Na niżach, gdzie warstwy kiedyś zapadły się do znacznej głębokości, spotykamy zazwyczaj za wielkie natężenie siły ciężkości, a więc nadmiar mas, natomiast na wysoko wypiętrzonych łańcuchach górskich przeważającym jest niedomiar mas.

Na Morzu Czerwonem, które powstało dzięki zapadnięciu się skorupy ziemskiej, stwierdzono nadmiar siły ciężkości. Na południowym stoku Alp, na zapadłej

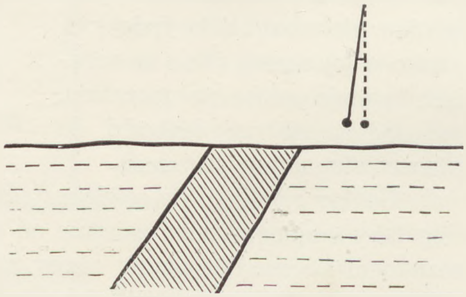
nizinie nadpadańskiej, siła ciężkości okazuje bardzo mały nadmiar. W pobliżu Alp pojawia się niedomiar, ku północy staje się coraz większym i w Engadinie osiąga najwyższą wartość. A właśnie tutaj bardzo zawiła budowa geologiczna świadczy o niezwykle silnem i daleko w głąb ziemi sięgającem działaniu sił górotwórczych. W górach Jura niedomiar zmniejsza się, bo tu siły górotwórcze działały słabiej i łagodniej, aniżeli w Alpach, a więc do mniejszej głębokości zaburzyły budowę warstw. Ale w silniej zaburzonym Czarnym Lesie (Schwarzwald) natężenie siły ciężkości znowu więcej opada poniżej normalnej wartości. Gdy, posuwając się dalej jeszcze ku północy, wkroczymy na niż północno-niemiecki, to na całym jego obszarze siła ciężkości staje się za dużą.



Odchylenie pionu wskutek przyciągania przez górę.

Podobne stosunki spotykamy w naszym kraju. Na zapadniętym niżu galicyjskim siła ciężkości nie wiele odbiega od normalnej. W głąb Karpat niedomiar zwiększa się, ale z chwilą, gdy przekroczymy najwyższe grzbiety, pojawia się nadmiar siły ciężkości, który utrzymuje się niemal na całym obszarze niziny węgierskiej.

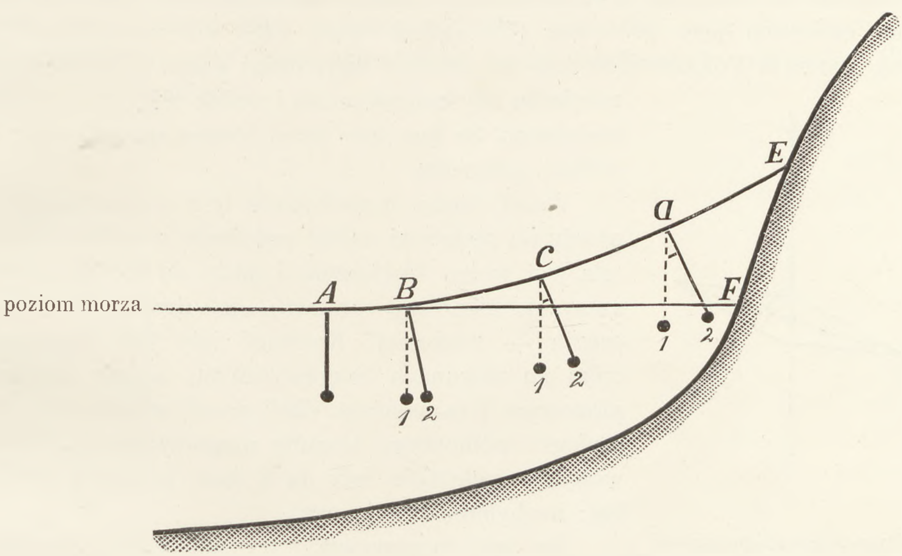
Pion i wahadło oddały nieocenione usługi przy badaniu kształtu ziemi. Przy ich pomocy poznano bliżej nieregularności, jakie okazuje poziom morza. Im bliżej wybrzeża, tem więcej pion odchyla się z położenia prostopadłego ku lądowi, a poziom morza ustawia się prostopadle do kierunku, jaki pion wskazuje. W pobliżu większych kontynentów, które wywierają silne przyciąganie na wody otaczającego oceanu, zwierciadło morza wznosi się i tworzy krzywą linię (por. rys. na str. 29). Wskutek tego u brzegu lądów poziom morza musi stać znacznie wyżej, aniżeli przy wyspach, położonych na środku oceanu. Na wyspie św. Heleny wahadło odbywa dziennie o 6,55 wahnień za wiele, z czego należałoby wnosić, że tu poziom morza stoi o 847 m niżej, niż u wybrzeży afrykańskich. Przy wyspach Bonin nadmiar ilości wahnień dochodzi do 11,04 dziennie, a to wskazywałoby na jeszcze większą różnicę, bo aż 1309 m poniżej stanu morza u brzegów Południowej Ameryki. Być może, że powyższe obliczenia są przesadzone, ale w każdym razie nie ulega wątpliwości, że poziom morza znacznie podnosi się przy kontynentach. Wskutek tego zaciera się prawdziwa rzeźba kontynentów i łagodzi się przeciwieństwo lądów i mórz. Jakże szeroki pas lądu wyłoniłby



Odchylenie pionu przez pokład o większej gęstości.

się z morza u wybrzeży kontynentów, gdyby ustało przyciąganie przez masy lądów, a poziom morza przyjął kształt regularnego sferoidu! Nieregularności poziomu morza sprawiają, że nasza znajomość kształtu i rozmiarów ziemi nie jest jeszcze dokładną.

Cyfry, które przytoczyliśmy dotąd, mówiąc o najgłębszych szybach, najwyższych szczytach, największych głębiach morskich i t. d., znikają wobec rozmiarów kuli ziemskiej. Wyobraźmy sobie globus o wysokości dorosłego człowieka (średnica = 172 cm), to na nim 1 mm będzie odpowiadał 1 mili geogr. Na jego powierzchni najwyższe góry i największe głębie dadzą nierówności, zaledwie przekraczające 1 mm. Średnia wysokość lądów będzie przedstawiała $\frac{1}{10}$ mm,



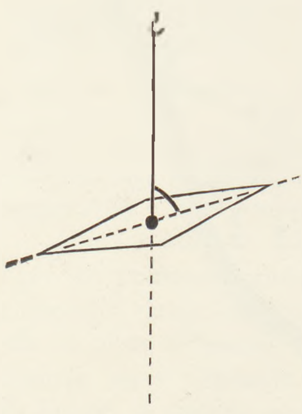
Wznoszenie się poziomu morza u brzegu lądu (znacznie przesadzone).

a średnia głębokość mórz wystąpi jako zagłębienie na $\frac{1}{2}$ mm. Różnica między stanem poziomu morza na wyspach Bonin a u brzegów Ameryki Południowej wynosić będzie niespełna $\frac{1}{4}$ mm. Wreszcie na tym samym globusie głębokość, do jakiej doszedł otwór świdrowy w Schladebach, będzie oddana przez $\frac{1}{4}$ mm. Widać z tego, jak niedostateczne są nasze wiadomości o kuli ziemskiej i do jak cienkiej stosunkowo warstewki zewnętrznej odnoszą się dotychczasowe spostrzeżenia bezpośrednie.

Ziemia posiada magnetyzm i wskutek tego oddziaływa na igłę magnetyczną jak bardzo silny magnes. Dla każdego miejsca na ziemi istnieją trzy elementy magnetyzmu ziemskiego: zboczenie (deklinacya), nachylenie (inklinacya) igły i natężenie (intenzywność) siły magnetycznej. Te elementy są dla każdego punktu na ziemi inne, a i w tej samej miejscowości ulegają pewnym zmianom w ciągu krótszych lub dłuższych okresów. Obok tego można obser-

wować nagłe zaburzenia pod wpływem wybuchów wulkanicznych lub trzęsień ziemi.

Igła magnesowa, podparta swobodnie na osi pionowej, zajmuje pewne stałe położenie, ale nie wskazuje całkiem dokładnie północnego lub południowego kierunku. Linia, poprowadzona przez oba końce igły, nie zgadza się ściśle z południkiem astronomicznym, lecz wyznacza południk magnetyczny, który z poprzednim tworzy pewien kąt, zwany zboczeniem. Południki magnetyczne schodzą się w biegunach magnetycznych, które również nie schodzą się z astronomicznymi. Północny biegun magnetyczny znalazł Ross w r. 1831 w Ameryce północnej, na zachód od Zatoki Hudsońskiej (70°23′ półn. szer., 97°27′ na zachód od Greenwich). Południowego dotąd nie osiągnięto; tylko teoretycznie obliczono jego położenie (75° połud. szer., 148° na wschód od Gr.). Obok Ameryki Północnej istnieje na północy Azyi drugi punkt o największem natężeniu siły magnetycznej i wobec tego jest prawdopodobnem, że tam leży drugi biegun magnetyczny na półkuli północnej.


Inklinacya igły magnetycznej.

Jeżeli chodzi o nachylenie igły magnetycznej, to należy jej podporze nadać położenie pionowe. Wtedy igła jest wolno zawieszona i może się obracać w płaszczyźnie pionowej, zamiast — jak przy badaniu zboczenia — poziomej. Kierunek igły tak ustawionej tylko na biegunach magnetycznych będzie zupełnie pionowym i ta właśnie okoliczność umożliwiła wyszukanie północnego bieguna magnetycznego. Zresztą wszędzie położenie igły da z linią pionową pewien kąt: nachylenie (inklinacya).

Na igłę magnesową i jej miejscowe zboczenia wyraźny wpływ wywierają skład i budowa skorupy ziemskiej, jak np. istnienie skał wybuchowych, które zawierają wiele żelaza. W Skandynawii posługują się busolą przy eksploatacyi pokładów żelaznej rudy. Jeżeli magnetyzm ziemski polega na istnieniu prądów, to na ich kierunek i natężenie musi wpływać ułożenie warstw, a zwłaszcza pęknięcia, wzdłuż których część warstw zapadła się na setki lub tysiące m wgłąb i wzdłuż, których odmienne pokłady stykają się ze sobą. Nie ulega wątpliwości, że isnieje wyraźny związek między zaburzeniami w budowie skorupy ziemskiej a zboczeniami w przebiegu linii, zwanych izogonami, które na mapach łączą miejscowości o jednakowej deklinacyi. W Japonii na wyspie Nipon szereg wulkanów towarzyszy potężnemu zapadnięciu, które jako t. zw. «Fossa magna» przecina łańcuchy górskie. W pobliżu tego obszaru silnych zaburzeń izogony tworzą wybitne wygięcie. Również zauważono związek między magnetyzmem a ułożeniem pokładów w Himalajach, w okolicy Charkowa, w Alpach, w okolicy Paryża, w południowej Anglii i Szkocyi, a wreszcie w pobliżu potężnej

pokrywy skał wybuchowych nad brzegami Hudsonu w Północnej Ameryce. Podobnie stwierdzono nieprawidłowości (anomalie) magnetyczne na niektórych wyspach oceanicznych.

Niektóre rodzaje skał posiadają własności magnetyczne. Kawałek takiej skały, zbliżony do igły magnesowej, przyciąga jeden jej biegun, a odpycha drugi. Najlepiej spostrzeżono to zjawisko na lawach Wezuwiusza. Lawy, które wylewają się z głębi ziemi na jej powierzchnię, zawierają często znaczną przymieszkę magnetycznego żelaza. Skład law zmienia się bardzo szybko, nawet na małej przestrzeni, a wraz z nim ulega zmianom zawartość żelaza, która wywiera widoczny wpływ na igłę magnesową. Fouqué robił obserwacye nad zachowaniem się igły magnesowej na obszarze, zajętym przez lawy, które wylały się z krateru Etny podczas wybuchu w r. 1865. Dla deklinacyi igły znalazł przytem cyfry, obracające się w bardzo obszernych granicach (1°—18°20′ ku wschodowi).

III.

Rozmaite pomiary wykazały, że średnia gęstość kuli ziemskiej wynosi około 5,5. Tymczasem na powierzchni ziemi wszystkie skały okazują niemal o połowę mniejszą gęstość, a mianowicie około 2,7. Najbardziej rozpowszechniony składnik skał, kwarc posiada ciężar właściwy 2,65. Tylko niektóre gatunki skał przekraczają ciężar właściwy 3, a najcięższe ze wszystkich skały bazaltowe i oliwinowe dochodzą zaledwie do 3,3 — 3,5. Dodać należy, że większą część powierzchni ziemi zajmują wody oceanów, których ciężar właściwy jest 1,026.

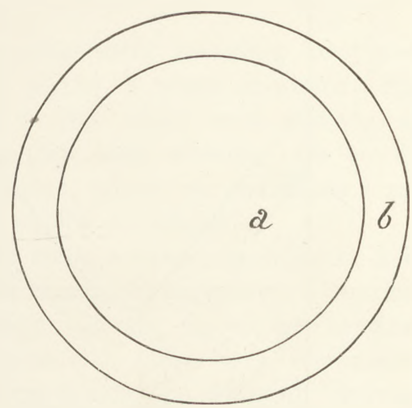
Ciężar właściwy skorupy ziemskiej (z uwzględnieniem wód oceanicznych około 1,6) nie osiąga nawet $^1/_3$ tej wartości, jaką znaleziono dla średniej gęstości ziemi. Stąd powstało przypuszczenie, zupełnie słuszne i naturalne, że gęstość wnętrza ziemi o wiele przewyższa 5,5 i w ten sposób wyrównywa niewielki ciężar właściwy zewnętrznej skorupy. Powszechnie przyjętem jest zdanie, że w głębi ziemi są nagromadzone bardzo ciężkie masy, przedewszystkiem żelazo i inne metale.

Skały wybuchowe, które od najdawniejszych czasów przebijały skorupę ziemską i dziś jeszcze wydobywają się z głębi jako lawy wulkanów, zawierają dużo żelaza, bądź w połączeniu z tlenem, bądź też rodzimego. Tak np. w skałach bazaltowych obficie znachodzi się żelazo w drobnych ziarnach lub większych grudkach. W r. 1870 Nordenskjöld znalazł w Ovifak na wyspie Disco (Grenlandya) bryły żelaza rodzimego ważące po kilkaset cetnarów. Początkowo uważano je za meteoryty, ale późniejsze dokładne badania okazały, że owe bryły żelaza zostały wyrzucone z głębi ziemi wraz z sąsiednimi bazaltami, które w tych stronach zajmują znaczny obszar.

Do najcięższych należą skały oliwinowe (dunit). Są one ukryte w najgłębszych warstwach skorupy ziemskiej, a jeżeli je znajdujemy tu i owdzie na powierzchni, to zostały wydźwignięte z głębi przez ruchy skorupy ziemskiej, lub odsłonięte wskutek niszczącego działania zjawisk atmosferycznych. Oliwin należy do najbardziej rozpowszechnionych minerałów w meteorytach i uderzającem jest podobieństwo skał oliwinowych do niektórych kamieni meteory-

cznych. W obu występuje obok innych wspólnych składników żelazo rodzime i w połączeniu z chromem. Skały oliwinowe i, pochodzące z ich rozkładu, serpentynowe kryją w sobie bardzo ważne złoża rzadkich metali. Rodzime złoto po części, a platyna i iryd niemal wyłącznie znachodzą się na ziemi w skałach oliwinowych, bądź w nich samych, bądź też wypłukane przez wodę w towarzystwie żwirów serpentynowych. Najważniejsze złoża rzadkich metali, a mianowicie w Uralu (Niżni Tagilsk), na Borneo i na Nowej Zelandyi, pojawiają się w sąsiedztwie oliwinu.

Skały są złymi przewodnikami ciepła, toteż wpływ promieni słonecznych nie może sięgać daleko w głąb ziemi. Głębokość, do jakiej dochodzi ciepło słoneczne, nie jest wszędzie na ziemi jednakową, ale zależy od szerokości geograficznej, rodzaju gruntu i zawartości wody. Dzienne zmiany temperatury na powierzchni dają się uczuwać do głębokości około 1 m, podczas gdy roczne zmiany można jeszcze śledzić na 18—25 m pod powierzchnią ziemi. Z wzrastającą głębokością różnica między najwyższą a najniższą temperaturą w ciągu roku staje się coraz mniejszą. Spostrzeżenia, robione w Królewcu przez 14 lat, wykazały, że w głębokości 5 m pod powierzchnią ziemi najzimniejszym miesiącem jest kwiecień, najcieplejszym październik, a ich różnica wynosiła zaledwie 4°. W głębokości, zazwyczaj około 30 m wynoszącej, ustaje już zupełnie wpływ ciepła słonecznego i napotykamy warstwę o temperaturze stałej, która odpowiada średniej rocznej na powierzchni ziemi. Głębokość, w której znachodzi się owa warstwa, zależy od położenia geograficznego; najmniejszą jest w okolicy równika, a największą w pobliżu biegunów. W Jakucku dopiero w głębokości 125 m przebito zamarzniętą warstwę ziemi i natrafiono na wodę.

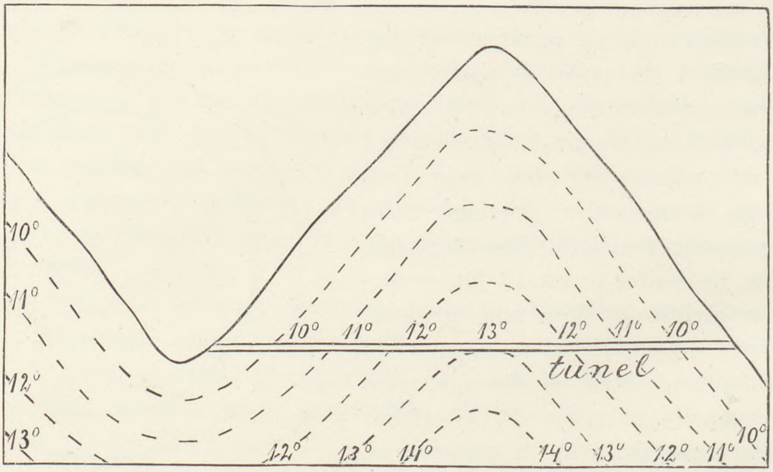


Przekrój ziemi (według E. Wiecherta). *a*, jądro z żelaza, *b*, powłoka kamienna.

Spuszczając się w kopalniach w głąb skorupy ziemskiej, spostrzegamy stopniowe podnoszenie się temperatury. Wynika stąd, że w wielkiej głębokości temperatura musi być nadzwyczaj wysoką. W myśl teoryi Laplace'a ziemia była niegdyś rozżarzoną kulą. Później pokryła się stężałą skorupą skalną, złożoną ze złych przewodników ciepła i dzięki temu zachowała w swem wnętrzu ogromny zapas ciepła. Ten «ogień wewnętrzny» ziemi, czyli strefę o bardzo wysokiej temperaturze nazywamy pirosferą, w przeciwieństwie do skrzepłej skorupy, litosfery.

Ilość metrów, o jaką potrzeba spuścić się w głąb ziemi, aby uzyskać

podwyższenie temperatury o 1° C, nazywa się stopniem geotermicznym. Zaś przez geoizotermy rozumiemy płaszczyzny, na których położone są punkty o tej samej temperaturze. Niezbyt głęboko jest ich przebieg nieregularny i dokładnie oddaje rzeźbę powierzchni ziemi; wyginają się ku górze pod wyniosłościami, a zapadają pod zagłębieniami. W tunelach, ktore przebijają wysokie góry, panuje w środku wyższa temperatura niż u wejścia, bo w miarę posuwania się w tunelu w głąb góry, oddalamy się coraz bardziej od powierzchni ziemi. W tunelu Mont Cenis, w odległości 500 m od wejścia, temperatura skały wynosi 14,2° C. Zaś w odległości 6450 m, która odpowiada 1690 m poniżej powierzchni góry, temperatura skały podnosi się do 29,5°. Dopiero



Geoizotermy we wnętrzu góry.

w znacznej głębokości pod powierzchnią ziemi geoizotermy przebiegają całkiem regularnie i równolegle do siebie jako kule spółśrodkowe.

Stopień geotermiczny nie jest jednakowy w każdym szybie lub otworze świdrowym, ale pod wpływem rozmaitych czynników ulega znacznym zmianom. Przedewszystkiem ważną rolę odgrywa stopień, w jakim skały przewodzą ciepło. Jest rzeczą jasną, że im gorszym przewodnikiem jest jakaś skała, tem szybszym stanie się wzrost temperatury w głąb, a więc tem mniejszym będzie stopień geotermiczny. Oprócz tego wpływa na wielkość stopnia geotermicznego zawartość wody, a także uwarstwowanie i ułożenie skał. Wzdłuż warstw okazują skały lepsze przewodnictwo aniżeli wpoprzek.

Podczas gdy w kopalniach srebra w Przybramie (Czechy) w głębokości 890 m spotykamy około 22° C, to w kopalniach złota Comstock-Lode w Newadzie już na 600 m pod ziemią nadzwyczaj wysoka temperatura (miejscami do 54,5°) sprawia, że nawet przy bardzo silnej wentylacyi robotnicy mogą

pracować bez przerwy zaledwie przez 10 minut. Przyczyną tak małego stopnia geotermicznego (15,25 m) jest blizkość źródeł gorących. Podobnie gwałtowny przyrost temperatury spotykamy w innych okolicach, położonych w sąsiedztwie objawów wulkanicznych, albo też zajętych przez skały, które w ubiegłych epokach geologicznych zostały wyrzucone z głębi ziemi pod wpływem sił wybuchowych, a którym często towarzyszą gorące źródła. Tak np. w otworze świdrowym w Macholles koło Riom (środkowa Francya) stopień geotermiczny wynosi 14,16 m, w Monte Massi (Toskana) mamy 13 m, a w studni artezyjskiej w Neuffen (Wirtembergia) 10,5 m. W kopalniach miedzi na półwyspie Keweenaw nad Jeziorem Górnem w Ameryce Północnej wskutek wsiąkania zimnej wody przyrost temperatury słabnie w miarę zbliżania się do jeziora. Najbliżej niego położony szyb okazuje stopień geotermiczny 122,8 m.

Z licznych obserwacyi Prestwich ocenił średnią wartość stopnia geotermicznego na 26,28 m.

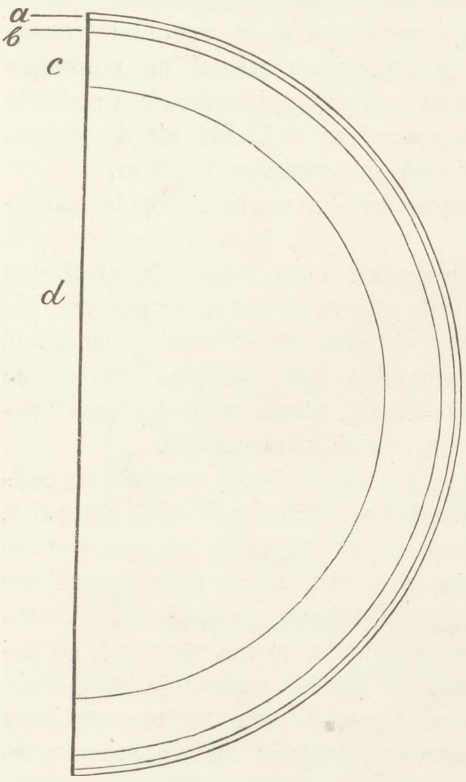
Przy podnoszeniu się temperatury wszystkie ciała zmieniają swój stan skupienia, ze stałego przechodzą najpierw w płynny, a potem w gazowy. Nie ulega wątpliwości, że wzrost temperatury w głąb ziemi musi powodować zmiany w stanie mas, z których zbudowaną jest kula ziemska. Ale co do stanu, w jakim ma się znajdować wnętrze ziemi, zdania są podzielone i zarówno stan stały, jak ciekły i gazowy mają swoich zwolenników.

Przypuszczenie, że ziemia w całości jest stałą, a nawet sztywniejszą aniżeli kula ze stali, powstało najpierw wśród uczonych angielskich (Hopkins, W. Thomson, G. H. Darwin). Jego zwolennicy opierają się na powszechnie znanym fakcie, że temperatura topnienia tych ciał, które przy krzepnięciu zmniejszają swą objętość, wzrasta w miarę zwiększania się ciśnienia. Skorupa ziemska wywiera ogromne ciśnienie na wnętrze[13]), a to ma sprawiać, że pomimo wzrostu temperatury w głąb ziemia w całości zachowuje stan stały. Ale jak w takim razie da się wytłómaczyć pochodzenie roztopionej lawy, która z głębi wulkanów wydobywa się na powierzchnię ziemi? Jedni przypuszczają, że pomimo stanu stałego ziemi istnieje w głębi warstwa płynna, inni znowu, że w niewielkiej głębokości zachowały się odosobnione ogniska roztopionych skał.

Niektórzy uczeni skłaniają się do przypuszczenia, że kula ziemska składa się z płynnego wnętrza, które jest otoczone skrzepłą, niejednostajnie grubą skorupą. Co do jej grubości wyniki obliczeń nie są zgodne; jedni przyjmują kilkadziesiąt, inni przeszło 100 km.

Liczne doświadczenia wykazały, że każde ciało posiada pewną temperaturę krytyczną. Powyżej tego punktu może istnieć jedynie w stanie gazu, bez względu na to, pod jak wielkiem znachodzi się ciśnieniem. Ta zasada dała podstawę hipotezie o gazowem wnętrzu ziemi. Według niej pod sztywną skorupą (1) znachodzą się masy plastyczne, które przy wzrastającej głębokości stają się coraz bardziej płynnemi. W ten sposób dokonywa

się stopniowe przejście od sztywnej skorupy do gazowego wnętrza. Najpierw mają się pojawiać gazy w stanie zwyczajnym, to jest takie, które przy większem ciśnieniu mogłyby jeszcze uledz skropleniu. Głębiej natomiast ich temperatura przekracza już punkt krytyczny i ustaje możność przejścia w płyn. Wreszcie sam środek ziemi ma być zajęty przez gazy w stanie dyssocyacyi, t. zn. rozbite na atomy. Tu ustaje ruchliwość cząstek, a dzięki olbrzymiemu ciśnieniu gazy posiadają gęstość cieczy lub nawet ciał stałych i zachowują się jakby masa zupełnie sztywna.



Przekrój ziemi (według Sv. Arrheniusa). *a*, sztywna skorupa. *b*, skały w stanie płynnym. *c*, skały w stanie gazowym. *d*, żelazo w stanie gazowym.

Svante Arrhenius na podstawie swych obliczeń doszedł do wniosku, że z odległości powierzchni ziemi od środka, czyli z promienia ziemskiego przypada

1% na sztywną skorupę,
4% » skały płynne,
15% » skały w stanie gazu,
80% » żelazo w stanie gazu.

Jednym z objawów wewnętrznego ciepła ziemi są wybuchy wulkaniczne. Wulkanami nazywamy góry stożkowatego kształtu, które na samym szczycie, a czasem z boku posiadają jeden lub więcej otworów (kratery). Krater jest wylotem kanału, który jakby komin sięga daleko w głąb skorupy ziemskiej i którędy wydobywają się z głębi ziemi na powierzchnię roztarte lub roztopione skały, parte prężnością par. Z tego właśnie materyału są zbudowane góry wulkaniczne. Przeważnie zostały usypane z drobnych okruchów skalnych, wyrzuconych z głębi ziemi, a pomiędzy nimi są tu i owdzie wtrącone skrzepłe strumienie lawy.

Wyrzucanie mas skalnych z głębi wulkanu nie odbywa się bez przerwy. Od czasu do czasu następują wybuchy, jakby paroksyzmy, poprzegradzane dłuższemi pauzami, okresami zupełnego spokoju. Ten zastój czynności wybuchowej wulkanu może trwać bardzo długo i czasem nawet zdaje się, że wulkan już zupełnie wygasł i nigdy się nie odezwie. Tak np. w historyi nie przechowała się żadna wiadomość o wybuchaniu Wezuwiusza przed I-ym wiekiem po Chr., a uczeni starożytni spierali się, czy Wezuwiusz jest wulkanem, czy

nie. Aż dopiero w r. 79 po Chr., po wiekach zupełnego spokoju nastąpił pamiętny wybuch, który zasypał trzy miasta rzymskie: Herculanum, Pompei i Stabie. Gdy wybuch wulkanu ustanie, komin wulkanu zostaje zatkany stężałą lawą, zmieszaną z okruchami skał. W miejscu krateru pozostaje głęboka przepaść, poorana szczelinami, z których wydobywają się rozmaite gazy i kłęby pary wodnej.

Podczas przerwy w czynności wybuchowej czynniki atmosferyczne pracują nad zniszczeniem stożka wulkanicznego, usypanego z materyałów, które zostały wyrzucone w chwili wybuchu. Jeżeli spokój trwa bardzo długo, to nawet znaczna część wulkanu może uledz zniszczeniu. A za następnym wybuchem powstaje nowy stożek wulkaniczny wewnątrz resztek dawniejszego, które jakby poprzerywany wał otaczają go dokoła. Między tym wałem a nowym stożkiem pozostaje głęboka zapadłość. Z Wezuwiusza przyjęto ogólnie nazwy: dla owego wału «somma» — a dla zapadłości pomiędzy nim a późniejszym stożkiem «atrio».



Przekrój wulkanu Rangitoto w Nowej Zelandyi; pokłady skrzepłej lawy są ciemno zaznaczone. (Według Hochstetera).

Wybuch wulkanu zazwyczaj nie następuje niespodziewanie, ale już na dłuższy czas przedtem można dostrzedz oznaki wzmagającej się czynności wybuchowej. W okolicy wulkanu, jak to np. w Neapolu często zauważano, na miesiące przed wybuchem piwnice napełniają się bezwodnikiem węglowym; wskutek tworzenia się nowych szczelin jedne źródła wysychają, a gdzieindziej powstają nowe. Równocześnie coraz więcej gazów wydziela się w kraterze i chmury pary wodnej zakrywają słońce. Na szczytach bardzo wysokich wulkanów wieczne śniegi zaczynają szybko topnieć i powodują gwałtowne powodzie, które pustoszą okolicę. Tymczasem w głębi ziemi coraz silniejszy nacisk uwięzionych par pracuje nad przebiciem zatkanego komina wulkanu. Tworzą się liczne pęknięcia w skorupie ziemskiej, przyczem bardzo daleko słychać łoskot podziemny, a wstrząśnienia ziemi nawiedzają okolicę wulkanu. Wreszcie następuje wybuch. Prężność par podziemnych przebija zatkany przewód wulkanu i z ogromną siłą wyrzuca z krateru okruchy skał z kulistemi bryłami płynnej lawy do znacznej wysokości. Ku niebu wzbija się wysoka chmura dymu i pary wodnej i rozszerza się w górze jakby parasol. Jej kształt Pliniusz trafnie porównał z koroną pinii. W nocy chmura świeci czerwonym odblaskiem rozżarzonej lawy. Wskutek zgęszczenia obłoków pary wodnej, nałado-



Widok wulkanu Mont Pelée na Martynice podczas wybuchu 27 maja 1902.
(Według I. C. Russell'a).

wanych elektrycznością, spada ulewny deszcz, miesza się z drobnymi produktami wybuchu wulkanu w błotną masę i zalewa okolicę. Taka to powódź pogrzebała Herculanum i Pompei w r. 79 po Chr.

Wulkany są na tysiące metrów wysokie. Do takiej wysokości musi się wznieść w kominie roztopiona lawa, aby mogła przelewać się przez brzegi krateru i ściekać strumieniami po stokach wulkanu. Podnoszący się z głębi ziemi słup lawy wywiera potężne ciśnienie na zbudowanez luźnego materyału ściany wulkanu, które często nie mogą wytrzymać tak silnego nacisku i pękają. Wówczas lawa nie dosięga krateru na szczycie, ale znajduje krótszą drogę wzdłuż szczelin w ścianach i na stokach wulkanu tworzy się wzdłuż pęknięcia szereg mniejszych stożków wybuchowych, zwanych bocznymi lub pasożytnymi. Etna posiada około 900 bocznych stożków.

Podczas wybuchu wulkan wyrzuca rozmaite materyały. Kanał, przez który pary i lawa wydobywają się z głębi na powierzchnię ziemi, przecina różne skały, wchodzące w skład skorupy ziemskiej. Nacisk par odrywa po drodze nawet bardzo duże kawałki skał od ścian kanału, kruszy je i wyrzuca na zewnątrz. Zarazem rozbija te materyały, które zatykają komin wulkanu i zamykają połączenie między kraterem a głębszemi partyami skorupy ziemskiej. Wraz z nimi wylatują z krateru w górę kawałki żużli (lapilli, rapilli), które powstają ze skrzepnięcia piany, pokrywającej powierzchnię roztopionej lawy. Wydzielające się pary rozbijają płynną lawę na mniejsze lub większe kawałki i wyrzucają je wysoko w powietrze. Większe kawałki wylatują z krateru w górę, a następnie opadając na ziemię — wskutek ruchu wirowego przez atmosferę przybierają czasem charakterystyczny kształt skręcony i w tym stanie krzepną. Są to t. zw. bomby wulkaniczne. Na ich powierzchni widać nieraz pęknięcia, które powstają pod wpływem par, uchodzących ze stygnącej lawy. Drobne cząstki lawy po ostygnięciu w powietrzu, spadają jako piasek wulkaniczny, a wreszcie z najdrobniejszych tworzy się deszcz pyłu, czyli popiołu wulkanicznego.

Wszystkie te materyały, wyrzucane wysoko w górę, wkrótce spadają z powrotem na ziemię w najbliższej okolicy i składają się na budowę wysokiego wulkanu dokoła ujścia szczeliny, przez którą wydobywają się pary z lawą. Tylko najdrobniejsze popioły mogą przez długi czas pozostać w zawieszeniu w atmosferze, a porwane prądem wiatru spadają nawet w bardzo odległych stronach. Popioły z wybuchu Wezuwiusza w roku 512 spadły aż w Konstantynopolu. Po wybuchu wulkanu Conseguina w Guatemali (20 stycznia 1835) deszcz popiołu trwał przez 11 dni. W odległości 80 — 90 km, w mieście San Miguel, zupełna ciemność panowała przez $3^1/_2$ dnia, a gałęzie drzew łamały się pod ciężarem spadającego piasku i popiołu. A jeszcze w mieście Guatemala, odległem od miejsca wybuchu o 350 km, gruba chmura zakryła słońce. Największe, jakie wogóle znamy, zjawisko tego rodzaju, a mianowicie wybuch wulkanu Krakatau w cieśninie Sundajskiej, poznamy później.



Bomba z wybuchu wulkanu Mont Pelée w roku 1902. (Według Hovey'a).

Gdy już kanał zostanie przebity, a okruchy skał wraz z cząstkami płynnej lawy wylecą w powietrze — nakoniec wydobywa się spokojnie lawa, wypełnia krater coraz wyżej i wreszcie przez jego brzegi przelewa się na zewnątrz. Lawa jest roztopioną[14]) mieszaniną rozmaitych minerałów i pod działaniem siły ciężkości zachowuje się tak samo, jak każdy inny płyn, a więc spływa po pochyłościach, wypełnia nierówności, zatrzymuje się przy przeszkodach, a następnie przelewa się jakby wodospad i t. p. Zależnie od składników mineralnych można rozróżnić mniej lub więcej płynne rodzaje lawy. Lawy bogatsze w krzemionkę są mniej płynne i płyną po stokach z mniejszą chyżością, aniżeli uboższe w krzemionkę [15]).

Na powierzchni płynącej lawy wydzielają się obficie kłęby pary wodnej (fumarole). Z oddalaniem się od krateru strumień lawy stygnie i poczyna na powierzchni i od dołu krzepnąć. Zrazu tworzy się cienka skorupa, ale wewnątrz lawa jest jeszcze płynną, prze strumień naprzód i bezustannie rozrywa skrzepłą powłokę. W ten sposób potok lawy płynie w otoczeniu odłamów skorupy jakby w worku i toczy przed sobą potężny wał żużli. Bezładnie, jak zator lodowy na rzece, spiętrzone bryły żużli sprawiają, że po zupełnem ostygnięciu powierzchnia lawy jest bardzo nierówną[16]), a zwłaszcza tam, gdzie jej strumień płynął po stromo nachylonym terenie. Natomiast gdy pochyłość jest łagodna, płynie i ostyga spokojnie, tworząc dość równą powierzchnię. Wreszcie skrzepła skorupa staje się tak grubą, iż strumień lawy przestaje dalej płynąć. Zewnętrzna skorupa jest złym przewodnikiem ciepła i dzięki temu we wnętrzu przez długie lata lawa zachowuje wysoką temperaturę.

Rozmiary, jakie osiągają strumienie lawy, są bardzo rozmaite. Tak np. potok lawy, który wylał się z wulkanu Mauna Loa (wyspy Hawaii) w r. 1855, posiada przeszło 50 km długości, średnio 2 km szerokości, a grubość w niektórych miejscach dochodzi do 100 m.

Nie zawsze wybuch odbywa się tak, iż najpierw zostają wyrzucone masy luźnych materyałów, poczem już spokojnie wylewa się lawa. Wulkany, które wybuchają w powyżej opisany sposób, jak np. Wezuwiusz lub Etna, zajmują miejsce pośrednie pomiędzy dwoma zupełnie odmiennymi rodzajami wybuchów. Z jednej strony znamy wypadki, że cały wybuch polegał jedynie na wysadzeniu w powietrze ogromnych mas drobnych materyałów (np. Krakatau). Z drugiej znowu strony są wulkany (np. na wyspach Hawaii), których kratery ciągle wypełnia jezioro płynnej lawy. Od czasu do czasu wznosi się poziom lawy w kraterze i jej potoki wylewają się na zewnątrz. Różnica między tymi dwoma rodzajami wybuchów wulkanicznych zależy od ilości par, uwięzionych w podziemnych zbiornikach magmy, i od jej płynności. W pierwszym wypadku lawa zawiera bardzo dużo par, które wydobywają się nagle i gwałtownie, rozbijając w pył wszystko, cokolwiek stanie im w drodze — w drugim jest ich daleko mniej, mogą więc uchodzić zwolna i spokojnie.

Na gwałtownem wysadzeniu drobnego materyału bez wylewu lawy po-

legała jedna z najstraszniejszych katastrof, znanych w historyi, a mianowicie wybuch wulkanu Temboro na wyspie Sumbawa (archipelag Sundajski) w roku 1815. W chwili tej eksplozyi przynajmniej 150 km^3 skał uległo rozbiciu w pył, a około 60 tysięcy ludzi straciło życie. Inna tego rodzaju eksplozya wydarzyła się 27 sierpnia 1883 r. w cieśninie Sundajskiej. Wówczas wulkan Krakatau wraz z większą częścią wyspy, na której się znajdował, został rozbity w drobny materyał, którego ilość obliczono na 18 km^3. Dziś w tem miejscu morze jest na 300 m głębokie. Popioły wyleciały w powietrze do wysokości 40 km i rozpostarły się na obszarze 20 tysięcy mil kwadr., a najdrobniejsze cząsteczki pozostały długo zawieszone w atmosferze i spowodowały zjawiska zorzy, które przez szereg miesięcy widziano w Europie, Azyi i północnej Afryce. Huk z powodu eksplozyi słyszano dokoła na obszarze, prawie równym Europie. Wskutek wstrząśnienia powstała w atmosferze fala, która obiegła ziemię 4 — 5 razy dokoła i wszędzie dała się odczytać z gwałtownych skoków w stanie barometru. Podobnie jak atmosferze, i morzu udzieliło się wstrząśnienie, które objęło Ocean Indyjski, Spokojny i część Atlantyckiego. Fale wzburzonego morza, dochodzące przeszło 30 m wysokości, zalały nizko położone wybrzeże Jawy, Sumatry i sąsiednich wysp, przyczem zginęło 36 tysięcy ludzi. Gwałtowne wstrząśnienie wód morskich obiegło ziemię dokoła i dało się stwierdzić jeszcze na wybrzeżach Francyi.

Wulkan Bandai-San w Japonii oddawna uchodził za zupełnie wygasły, aż 15 lipca 1888 gwałtowny wybuch pary wysadził i rozbił wierzchołek tej góry, na 1840 m wysokiej. Skały, z których zbudowany był szczyt wulkanu, po części wyleciały w powietrze i następnie spadły na ziemię jako deszcz popiołu i kamieni, przeważnie jednak stoczyły się w ogromnych lawinach po północnym stoku wulkanu na przestrzeni 9 km i po drodze rozbiły się w drobne okruchy. Wszystkie te masy skalne, których objętość obliczono na 1,21 km^3 (= przeszło 2800 milionów tonn), pokryły obszar 70 km^2 warstwą okruchów, średnio na 17,4 m grubą. W miejscu wierzchołka wulkanu, który został usunięty przez wybuch, powstało zagłębienie.

Najlepszym przykładem drugiego rodzaju wybuchów, t. j. spokojnych wylewów lawy, są kratery na wyspie Hawaii: Moku-a-Weo-Weo i Kilauea; pierwszy zajmuje płaski szczyt, drugi otwiera się na stokach góry Mauna Loa. Oba przedstawiają się jako ogromne, kotłowate zagłębienia o pionowo opadających ścianach, a na ich dnie widać jezioro burzącej się lawy. Tutaj wybuchy przebiegają spokojnie; poziom lawy w kraterze podnosi się, a ze szczelin na stokach wulkanu wypływają strumienie lawy. Dokoła olbrzymiego krateru Kilauea widać terasy, które jakby gzymsy ciągną się schodkowato wzdłuż ścian krateru i zaznaczają stan powierzchni jeziora lawy w rozmaitej wysokości.

Wulkan Stromboli (wyspy Liparyjskie) odznacza się peryodycznem wznoszeniem się i opadaniem poziomu lawy w kraterze. Od czasu do czasu[17]) lawa podnosi się, na jej powierzchni uchodzą z trzaskiem bańki pary wodnej, poczem znowu opada.

Zdarza się czasem, że wybuch popiołów i lawy nie odbywa się z jednego miejsca, z krateru wulkanu, ale wzdłuż całej szczeliny w skorupie ziemskiej. Tego rodzaju wypadki znane są np. z Islandyi. Tam znajdują się szczeliny na kilkadziesiąt km długie, które podczas wybuchów zamieniają się w szereg małych stożków wulkanicznych, wyrzucających popiół i lawę. Jeżeli okolica jest płaską, lawa zbiera się na powierzchni ziemi i ostyga jako potężna pokrywa — gdzie zaś natrafi na pochyłość, tam spływa strumieniami.

Podobnie jak ląd, i dno morza może być widownią wubuchów wulkanicznych. Taki podmorski wybuch zdarzył się w połowie lipca 1831 r. w Morzu Śródziemnem, na południe od Sycylii. Poprzedziło go kilkudniowe trzęsienie ziemi przy południowych wybrzeżach Sycylii. Wydobywające się z głębi pary wzburzały wodę morza, płomienie i dym unosiły się ponad zwierciadłem wody, kawałki żużli pływały dokoła, a nakoniec świeżo usypany krater wynurzył się ponad poziom wody. W ten sposób powstała wyspa, na kilkadziesiąt m wysoka, która otrzymała aż 7 nazw (Ferdinandea, Isle Julie, Graham Island, i t. d.). Bardzo krótkie było istnienie tej nowej wyspy. Wnet uległa zniszczeniu przez fale morskie i żaden ślad po niej nie pozostał. W podobny sposób powstała w roku 1796 i po dziś dzień istnieje grupa wysp św. Jana Bogusława w Morzu Beringa.

Najświeższy wypadek powstania nowej wyspy wskutek wulkanicznego wybuchu na dnie morza wydarzył się w grupie wulkanicznych wysp Bonin wśród Oceanu Spokojnego. W połowie listopada 1904 r. mieszkańcy wyspy Sulphur Island usłyszeli silny huk podziemny, a w dwa tygodnie później zauważyli, że w odległości około 5 km na południe od wyspy wydobywają się z morza ogromne chmury pary i dymu. Zjawisko potęgowało się z każdym dniem i zdawało się, że morze płonie. Wreszcie 5 grudnia zaczęła się zwolna wynurzać ponad powierzchnię gwałtownie wzburzonego morza mała wysepka, otulona w kłęby pary i dymu. W ciągu następnych dni ukazały się jeszcze dwie dalsze wysepki. Wkrótce wszystkie trzy wysepki złączyły się w jedną wyspę, która ciągle zmieniała swój kształt i wyrzucała kłęby pary. Z początkiem stycznia 1905 nowa wyspa, którą nazwano «Niiszima», miała $5^1/_2$ km w obwodzie i wznosiła się do wysokości 145 m nad poziomem morza. W północnej części wyspy znaleziono krater, wypełniony przez jezioro wrzącej wody.

Lawa, która podczas wybuchu podmorskiego rozlewa się po dnie morza, wskutek zetknięcia się z wodą morską daleko prędzej ostyga i krzepnie, aniżeli na lądzie. Dlatego gazy, uwięzione w lawie, nie mogą wydobyć się na zewnątrz i po ostygnięciu lawa zawiera bardzo dużo próżnych baniek.

Rozmieszczenie wulkanów na ziemi jest bardzo nierównomierne. Jedne okolice są bardzo bogate w objawy wulkaniczne, innym znowu brak ich zupełnie. Warunkiem, od którego zależy występowanie wulkanów, jest istnienie szczelin, które do głębi przecinają skorupę ziemską. Wzdłuż takich głębokich pęknięć pary, uwięzione wewnątrz ziemi, torują sobie drogę na zewnątrz i uchodzą, wyrzucając popiół z lawą. Wszystkie wulkany, które od czasu do

czasu swymi wybuchami stwierdzają, że ich czynność eszcze nie ustała, są ograniczone do okolic, gdzie w niedawnych epokach geologicznych tworzyły się szczeliny i powodowały zapadanie się w głąb ogromnych partyi skorupy ziemskiej. Takimi obszarami są wybrzeża i wyspy, szczątki rozległych niegdyś lądów, które pozapadały się w głąb i zostały zalane przez morze. Dalej od wybrzeży, w głębi lądów brak czynnych wulkanów, a natomiast spotykamy liczne ślady potężnych wybuchów wulkanicznych z minionych epok geologicznych.

Często wulkany są ugrupowane w szeregi, które ciągną się wzdłuż szczelin. Z czasem u jednych wulkanów przewód zatyka się i te raz na zawsze przestają wybuchać czyli wygasają, a natomiast w innym punkcie szczeliny pary szukają sobie drogi i tworzą się nowe, czynne stożki wulkaniczne. Stąd pochodzi, że w szeregach wulkanów jedne są czynne, a obok nich znachodzą się wygasłe i już po części zniszczone przez czynniki atmosferyczne. Tak np. środkową Amerykę skośnie przecina pęk szczelin, wzdłuż których objawy wulkaniczne przesuwają się ku Oceanowi Spokojnemu. Na każdej szczelinie znajduje się po kilka wulkanów, ale z nich tylko jeden, najbliżej Oceanu Spokojnego wysunięty, jest czynny, podczas gdy inne wygasły.

W rozmieszczeniu wulkanów na ziemi widać kilka wybitnych linii, na tysiące km długich. Dwie ważne strefy wulkanów ciągną się w kierunku południków i obejmują Ocean Spokojny po wschodniej i zachodniej stronie. Inny pas wulkanów przecina Atlantyk od północy ku południowi i przebiega przez szereg wysp. Rozgałęzienia tych trzech linii łączą się ze sobą i tworzą strefę, która wzdłuż równoleżników opasuje ziemię; do niej należą Indye Zachodnie, Morze Śródziemne i archipelag Sundajski.

Siłą, która wyrzuca popioły i lawę z głębi ziemi na powierzchnię, jest prężność par, uwięzionych w podziemnych zbiornikach roztopionych mas skalnych czyli magmy[18]). Jak szampan, nasycony gazami, wyrzuca z trzaskiem korek, pieni się i wylewa z butelki — tak samo pary, zawarte w płynnej magmie, pędzą ją w górę i powodują wybuchy wulkanów. Jeżeli butelka jest silnie zakorkowana, szampan pozostaje w spoczynku; podobnie, gdzie niema głębokich pęknięć w skorupie ziemskiej, tam pary, pochłonięte przez roztopioną magmę, pozostają pod wielkiem ciśnieniem, nie mogą się wydzielać i wywołać objawów wybuchowych. Tworzenie się szczelin, które sięgają do wielkiej głębokości i dochodzą do podziemnych zbiorników magmy, ma ten sam skutek, co odkorkowanie butelki szampańskiej. Z magmy, nagle uwolnionej od silnego nacisku warstw wyższych, pary zaczynają gwałtownie uchodzić i następuje wybuch wulkanu. Tworzeniu się pęknięć zazwyczaj towarzyszy zapadanie się w głąb rozległych partyi skorupy ziemskiej. Być może, że taka olbrzymia, zapadająca się kra swym ciężarem wypycha płynną magmę dokoła siebie wzdłuż pęknięć i w ten sposób potęguje siłę wybuchową wydzielających się par.

Mówiliśmy już w poprzednim rozdziale, że niektóre ciała w stanie

płynnym pochłaniają dużo gazów, a później oddają je w chwili krzepnięcia wśród zjawisk wybuchowych. Tą samą własnością odznaczają się minerały, które wchodzą w skład różnych rodzajów magmy. Zachodzi teraz pytanie, skąd płynna magma w głębi ziemi czerpie tyle pochłoniętych gazów, iż ich uchodzenie może sprowadzać potężne wybuchy wulkanów. Jedni uczeni przypuszczają, że woda morska wzdłuż szczelin dociera do podziemnych ognisk magmy, wskutek wysokiej temperatury zamienia się w parę i powoduje wybuchy. Na poparcie tego zdania przytaczają, że wulkany są przywiązane do blizkości morza i że wybuchy wulkaniczne obok innych produktów dostarczają także pary wodnej i chlorku sodowego, który jest najważniejszym składnikiem wody morskiej. Być może, że przy niektórych wybuchach, które miały charakter eksplozyi, dostęp wody z powierzchni ziemi wgłąb odegrał ważniejszą rolę. Takie tłómaczenie jest bardzo prawdopodobne np. dla wybuchu Krakatau, gdzie widownią nagłej eksplozyi była mała wyspa, zewsząd oblana przez morze. Ale dla ogółu zjawisk wulkanicznych musimy przyjąć inne pochodzenie par podziemnych. Według teoryi Laplace'a cała ziemia znajdowała się niegdyś w stanie ognisto-płynnym i wówczas mogła absorbować bardzo dużo rozmaitych gazów z otaczającej atmosfery. Dziś natomiast, gdy ziemia oziębia się coraz bardziej, owe niegdyś pochłonięte pary wydzielają się z głębi bez przerwy i zasilają wybuchy wulkaniczne[19]). Przy stygnięciu roztopionego srebra gazy, wydobywające się z płynnego jeszcze wnętrza metalu, przebijają skrzepłą powłokę wśród zjawisk wybuchowych. Zupełnie tak samo w ogromnych rozmiarach z wnętrza ziemi, które jeszcze zachowało bardzo wysoką temperaturę, w miarę oziębiania się uchodzą pary, przebijają się przez dawno ostygłą skorupę ziemską i wywołują zjawiska wulkaniczne na jej powierzchni.

Podczas wybuchu wulkanicznego widzimy, jak wielka masa gazów uchodzi z lawy i stąd możemy sobie wyrobić przynajmniej przybliżone pojęcie o ich ogromnej zawartości w magmie. Skały wybuchowe, zwane smołowcami, które powstały z szybko ostygającego stopu i wskutek tego nabrały t. zw. szklistej struktury, zawierają dziś jeszcze chemicznie związaną wodę w ilości, odpowiadającej około 200 l w 1 m^3 skały. A ileż pary wodnej musiały zawierać w stanie płynnym jako magma?

Z biegiem czasu czynność wybuchowa wulkanów słabnie coraz bardziej i wreszcie zamiera zupełnie. Zanim jednak wulkan przestanie być czynnym i zejdzie do rzędu wygasłych, przechodzi najczęściej przez szereg objawów, w których stopniowo coraz słabiej występuje potęga sił podziemnych. W przerwach pomiędzy jednym wybuchem a następnym bezustannie wydobywają się z głębi krateru masy pary wodnej i różnych innych gazów (siarkowodór, dwutlenek węgla, wodór, azot i t. d.). Wskutek ich rozkładu tworzą się wydzielenia siarki, chlorku sodowego lub potasowego, kwasu borowego i t. p., które tworzą jaskrawą powłokę na skałach w pobliżu krateru[20]). Jeżeli wulkan przestaje wybuchać, to zjawiska te, jako t. zw. solfatary, stają się pierwszem ogni-

wem w szeregu objawów, wśród jakich zwolna zamiera czynność wybuchowa wulkanu.

W miarę słabnięcia objawów wulkanicznych temperatura opada, para wodna musi się skraplać i zamiast niej wydobywa się z głębi ziemi wrząca woda, zawierająca bardzo wiele rozpuszczonych substancyi mineralnych, głównie węglan wapniowy i krzemionkę. Gdy wydobędzie się na powierzchnię, gazy, zawarte w wodzie, szybko uchodzą, temperatura opada, a zarazem przy współudziale drobnych organizmów roślinnych osadza się krzemionka lub węglan wapniowy. Jeżeli woda spływa po pochyłości, wtedy osady tworzą śnieżnobiałe terasy z małemi jeziorkami wody błękitnej lub zabarwionej jaskrawo przez miliony wodorostów, które mogą w niej wegetować pomimo wysokiej temperatury.

Niektóre źródła wrzącej wody odznaczają się tem, że woda wydobywa się z głębi w regularnych odstępach czasu. Są to gejzery, które od czasu do czasu z hukiem wyrzucają w górę strumienie gorącej wody i kłęby pary, tworząc wspaniałe wodotryski, na kilkadziesiąt m wysokie. Podczas spoczynku gejzer przedstawia lejkowate lub kotłowate zagłębienie, wypełnione wodą niezwykłej czystości. Z tego zagłębienia pionowy, rurowaty kanał prowadzi w głąb ziemi. Dokoła jego ujścia tworzy się stożkowaty pagórek, zbudowany z osadów, które wydzielają się z wrzącej wody. Wybuch trwa bardzo krótko i wyrzuca z gejzeru cały zapas wody. Potem następuje przerwa, podczas której zbiornik zwolna znowu wypełnia się wodą. Długość tej przerwy pomiędzy jednym wybuchem a drugim zależy od wielkości gejzeru; mniejsze wybuchają co kilka minut, u większych natomiast trzeba czekać nieraz całe miesiące, zanim się wybuch powtórzy.

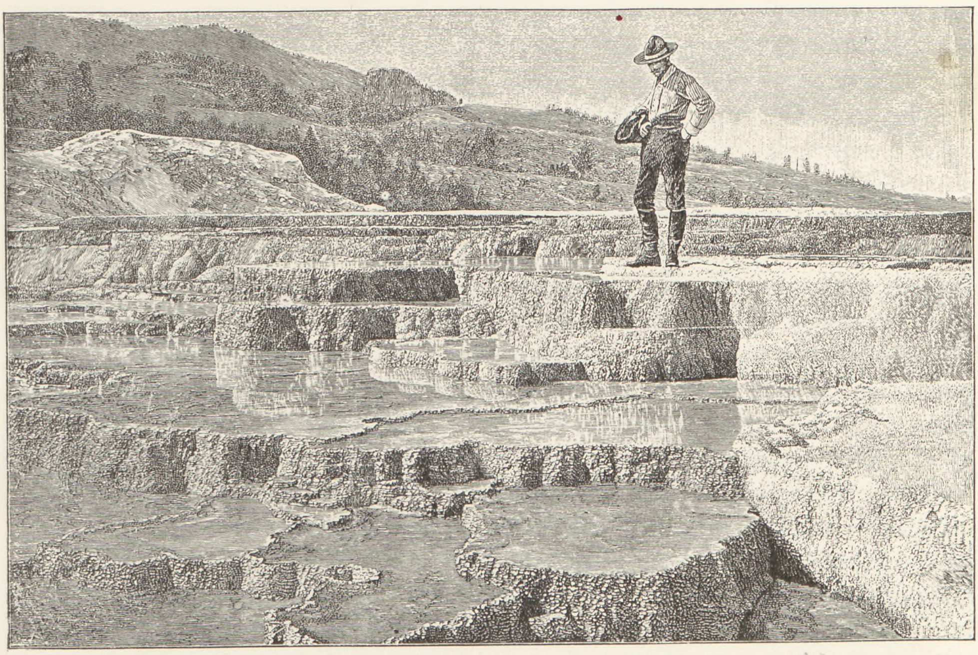
Przyczyna peryodycznego wybuchania gejzerów polega na tem prawie fizycznem, że z wzrastającem ciśnieniem podnosi się temperatura wrzenia wody. W zwyczajnych warunkach woda wrze przy 100° C., skoro jednak poddamy ją ciśnieniu, wówczas potrzeba pewnego podwyższenia temperatury, aby mogła zamieniać się w parę. O ile temperatura musi być wyższą ponad 100° C., to zależy od wielkości ciśnienia.

Temperatura wody w gejzerze wzrasta z głębokością i na dnie kanału dochodzi do przeszło 120° C. Pomimo tego woda nie może zakipieć z powodu ciśnienia, jakie wywiera słup wody, wypełniający przewód gejzeru. W każdym punkcie kanału temperatura jest nieco niższą od tej, jakiej potrzeba do zawrzenia wody pod ciśnieniem, odpowiadającem tej właśnie głębokości. Przed wybuchem temperatura wody podnosi się i z powierzchni wody w basenie gejzeru wydobywa się coraz więcej baniek pary wodnej. Uchodzenie baniek pary wyrzuca najwyższą warstewkę wody; wskutek tego obniża się słup wody i zmniejsza się jego ciśnienie, a wtedy temperatura w głębi już wystarcza, aby cały zapas wody w gejzerze zaczął w jednej chwili wrzeć i nastąpił gwałtowny wybuch.

Stożkowaty pagórek, który otacza ujście kanału gejzeru, podwyższa się

wskutek ciągłego osadzania się krzemionki. Zarazem przedłuża się kanał gejzeru, a słup wody, w nim zawarty, podwyższa się i wywiera coraz większe ciśnienie. To też wybuchy gejzeru następują w coraz dłuższych odstępach czasu i wreszcie zupełnie ustają.

Z połączenia dwóch gazów, które wchodzą w skład wyziewów wulkanicznych, a mianowicie z siarkowodoru i bezwodnika siarkawego [21]), tworzy się kwas siarkowy, który już z daleka objawia swą obecność gryzącą wonią, a zarazem wydziela się pewna część czystej siarki jako jasny nalot na otaczających



Wapienne terasy «Błękitnych Źródeł» (Blue Springs) w Parku Narodowym Yellowstone w Północnej Ameryce. (Według Weed'a).

skałach. Kwas siarkowy działa bardzo energicznie na skały i łatwo rozkłada utwory wulkaniczne, składające się z drobnego, luźnego materyału. W ten sposób tworzy się dużo szlamu, a z nim miesza się gorąca woda, wybuchająca z głębi i tworzy t. zw. wulkany błotne. Tej samej nazwy użyto niesłusznie także dla innego zjawiska, które poznamy później [22]), a którego przyczyna nie ma z objawami wulkanicznymi zgoła nic wspólnego. Wulkany błotne są tylko wtedy jednym z objawów wewnętrznego ciepła ziemi, jeżeli znajdują się w okolicach wulkanicznych, w bezpośrednim związku z innemi zjawiskami wulkanicznemi.

W północnej wyspie Nowej Zelandyi, znanej z silnych objawów wulka-

nicznych, znajduje się okrągłe jezioro Waimangu, którego obszar zajmuje około $^1/_4$ km². Utworzenie się tego jeziora nastąpiło bardzo niedawno i prawdopodobnie przypada na r. 1886, który w Nowej Zelandyi zaznaczył się bardzo silnymi wybuchami wulkanicznymi. Wśród ogłuszającego huku od czasu do czasu wybucha ze środka jeziora potężny słup czarnej, wrzącej wody, zmieszanej ze szlamem i z kamieniami. Słup wody strzela bardzo wysoko w górę, a chmury pary wznoszą się do wysokości przeszło 1000 m. Na kilkaset m dokoła wyrzucony szlam i kamienie pokrywają wzgórza i doliny. Przez kilkanaście lat, które upłynęły od powstania jeziora, piękna okolica zamieniła się w dziką i opustoszałą.

Niektóre okolice, jak Islandya lub Nowa Zelandya, odznaczają się wielką obfitością zjawisk, które właśnie opisaliśmy, a więc gejzerów, źródeł wrzące wody i t. d. Największą sławę zyskał sobie z powodu tych zjawisk Park Narodowy nad rzeką Yellowstone w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej.

Najsłabszymi objawami gasnącej czynności wulkanicznej są wyziewy bezwodnika węglowego (mofetty) i źródła gorące (cieplice, termy). Czasem oba te zjawiska łączą się razem jako źródła wody gorącej, z której uchodzi bezwodnik węglowy, nieraz w ogromnej ilości.

Występowanie term jest ściśle przywiązane do takich okolic, w których skorupa ziemska ulegała silnym zaburzeniom i okazuje liczne pęknięcia. Jako najsłabsze echo zjawisk wulkanicznych spotykamy źródła gorące nawet tam, gdzie siły wulkaniczne ucichły jeszcze w ubiegłych epokach geologicznych, gdzie skały plutoniczne, które tworzyły się ze stygnącej magmy w głębi skorupy ziemskiej, nie tylko oddawna skrzepły, ale nawet zostały odsłonięte dzięki niszczącemu działaniu czynników atmosferycznych.

W ostatnich czasach poglądy na pochodzenie wody źródeł gorących całkiem się zmieniły. Dawne przypuszczenie, że źródła gorące powstają z wody, która przesiąka z powierzchni ziemi do znacznej głębokości i tam się ogrzewa, tylko do niewielkiej ilości term możnaby zastosować. Natomiast w przeważnej części tak woda term, jak i składniki mineralne, nieraz w znacznej ilości w niej zawarte, są wydzieleniami z magmy, która zwolna stygnie w głębi skorupy ziemskiej (t. zw. emanacyjna teorya E. Suessa). A skąd wziął się w magmie tak olbrzymi zapas pary wodnej, na to już pierwej daliśmy odpowiedź. Termy zatem — tak samo, jak wszystkie inne produkty wybuchów wulkanicznych — są dla powierzchni ziemi nowym przybytkiem. Wulkaniczne wyziewy gazów wzbogacają atmosferę, źródła zaś gorące obok wyziewów pary wodnej stale zwiększają ilość wody, krążącej na powierzchni ziemi. Jak znaczny musi być ten przybytek, niech posłużą za przykład słynne termy w Karlsbadzie, które dostarczają na minutę około 3120 l wody z przesło 14 kg rozpuszczonych w niej związków mineralnych.

Z biegiem czasu ustają wreszcie najsłabsze objawy sił wulkanicznych i wulkany stają się zupełnie wygasłymi. Czynniki atmosferyczne zaczynają pra-

cować nad zniszczeniem utworów, które powstały z materyału, wyrzuconego siłą par podziemnych na powierzchnię ziemi. Jak każda wyniosłość, tak i stożki wulkaniczne ulegają obniżeniu i wreszcie znikają zupełnie z powierzchni ziemi, a jako jedyny ślad pozostają skały pochodzenia wulkanicznego, które utworzyły się bądź z ostygłej lawy, bądź też ze zlepienia luźnych materyałów, wyrzucanych niegdyś z krateru wulkanu.

Od najdawniejszych czasów, od chwili, gdy rozżarzona bryła ziemska pokryła się pierwszą skrzepłą skorupą — powierzchnia ziemi była ciągle widownią zjawisk wulkanicznych. Po wulkanach, które wybuchały podczas najrozmaitszych okresów geologicznych, od najstarszych, aż do najmłodszych pozostały skały wybuchowe. Ich udział w budowie skorupy ziemskiej jest bardzo wielki. W wielu okolicach przebijają utwory osadowe, które w zetknięciu ze skałą ogniowego pochodzenia uległy silnej przemianie. Znamy rozległe obszary i całe góry, zbudowane niemal wyłącznie ze skał wybuchowych. Czasem w ich sąsiedztwie tryskają źródła ciepłej wody i świadczą, że pomimo upłynienia długich epok geologicznych pęknięcia w skorupie ziemskiej jeszcze się całkiem nie zabliźniły.

Przy opisie wybuchu wulkanu poznaliśmy dwa rodzaje materyałów, jakie wydobywają się z głębi ziemi. Z biegiem czasu tworzą się z nich dwa zupełnie odmienne rodzaje skał wulkanicznych.

Lawa, ciśnieniem par rozbita na drobne cząsteczki, i roztarte okruchy skał dostarczają luźnego materyału, który wylatuje z krateru wysoko w górę, a następnie spada dokoła wulkanu. Te drobniejsze i grubsze okruchy zostają z czasem przez wodę zlepione w t. zw. tufy, które wprawdzie są pochodzenia wulkanicznego, ale posiadają cechy wspólne ze skałami osadowemi. Podobnie jak skały osadowe, tak samo i tufy bywają uwarstwowane i zawierają często szczątki organizmów lądowych lub morskich, zależnie od tego, czy osadzały się na powierzchni lądu, czy też na dnie morza.

Drugim produktem wybuchów jest stop (magma) rozmaitych minerałów, przesiąknięty gazami, głównie parą wodną, który jako lawa wylewa się z krateru. W miarę stygnięcia wydzielają się z magmy składniki mineralne. Ale wydzielanie się poszczególnych minerałów nie odbywa się w takim porządku, jakiego wymagałaby ich temperatura krzepnięcia. Często te składniki, które są łatwiej topliwe, wydzielają się najpierw, a dopiero później trudniej topliwe. Ta niezależność porządku, w jakim wydzielają się składniki magmy, od ich topliwości pochodzi stąd, że magma jest roztworem, w którym minerały wzajemnie się rozpuszczają. A temperatura krzepnięcia jakiegoś ciała z roztworu zależy nie od tej temperatury, przy której to ciało samo dla siebie przechodzi ze stanu ciekłego w stały, ale przedewszystkiem od stopnia jego rozpuszczalności.

W ostatnich czasach Doelter przy pomocy pieca elektrycznego oznaczył temperaturę, przy której rozmaite skały wybuchowe i minerały, w ich skład wchodzące, przechodzą ze stanu stałego w płynny. Oto kilka przykładów:

Skały:

Lawa z Etny	970—1040°
Bazalt	1020—1075°
Lawa z Wezuwiusza	1060—1090°
Granit	1160°

Minerały:

Amfibol	1065—1085°
Augit	1085—1095°
Biotyt	1130°
Ortoklaz	1175°
Magnetyt	1185°
Muskowit	1230°
Leucyt	1300°
Oliwin	1350°

Po ostygnięciu magma dostarcza skał wulkanicznych, które już na pierwszy rzut oka różnią się swym ustrojem (strukturą) od skał osadowych i odrazu objawiają swe pochodzenie ze skrzepnięcia stopu. Rozróżniamy głównie trzy następujące rodzaje struktury, jaką może przybierać krzepnąca magma.

1) Struktura krystaliczna. Skała przedstawia się jako masa ziarnista, złożona z samych kryształów mineralnych rozmaitej wielkości.

2) Struktura porfiryczna. Skała składa się z masy zbitej, niekrystalicznej, wśród której wtrącone są pojedyncze kryształy minerałów.

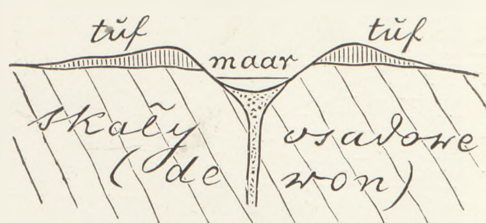
3) Struktura szklista. Skała tworzy masę bezpostaciową, zupełnie przypominającą szkło, a wśród niej niepodobna rozróżnić poszczególnych składników mineralnych. Czasem można widzieć w masie szklistej kręgi i słoje, które powstały wskutek płynięcia strumienia lawy (s. fluidalna).

Zazwyczaj skała wybuchowa, pochodząca z jednego i tego samego wylewu magmy, w całej swej rozciągłości jest jednostajną. Czasem jednak zdarza się, że w składzie lub w strukturze zachodzą miejscowe różnice, oraz przejścia z jednego typu do innego (np. od szklistego do porfirycznego lub krystalicznego).

Skały wybuchowe, które powstały z ostygłej lawy, daleko trudniej ulegają niszczącemu wpływowi atmosfery, aniżeli towarzyszące im tufy, zbudowane z luźnych materyałów. Gdy wulkan, zbudowany z pokładów tufów, wśród których wtrącone są liczne żyły i strumienie skrzepłej lawy, jest przez dłuższy czas wystawiony na działanie wody atmosferycznej, to tufy zostają prędzej usunięte, a natomiast odporniejsze wtrącenia skrzepłej lawy zachowują się znacznie dłużej i sterczą ponad swem otoczeniem. Często kominy dawnych wulkanów są wypełnione przez masę najrozmaitszych okruchów, które zostały

zlepione przez lawę w rodzaj zlepieńca, zwanego agglomeratem. Podobnie jak żyły lawy, tak samo i te okruchowce są trwalszymi od otaczających tufów i trudniej wietrzeją. Wskutek tego u dawnych wulkanów, które w znacznej części zostały zniszczone przez czynniki atmosferyczne, kanał wypełniony odporniejszymi materyałami często sterczy ponad otoczeniem i tworzy zaokrągloną, stożkowatą wyniosłość na powierzchni ziemi.

Jeżeli jednak pary gwałtownie uchodzą z głębi ziemi i wywołują eksplozyę, w takim razie pod naciskiem par przewód wulkanu zostaje oczyszczony z materyałów, które go wypełniają, a zarazem u swego ujściu na powierzchni ziemi doznaje rozszerzenia w kształcie lejka. Gdy z biegiem czasu stożek wulkanu, usypany dokoła przewodu z wyrzuconych materyałów, zostanie zniszczony przez czynniki atmosferyczne i zupełnie usunięty, pozostaje na powierzchni ziemi lejkowate zagłębienie, najczęściej wypełnione wodą. Tego rodzaju jeziorkami są t. zw. «maary» w Eifel i Auvergne. W podobny sposób w Kraju Przylądkowym (południowa Afryka) powstały lejki, wypełnione okruchami skał krystalicznych, które zostały wyrzucone z głębszych partyi skorupy ziemskiej i zawierają dyamenty.



Przekrój maar'u.

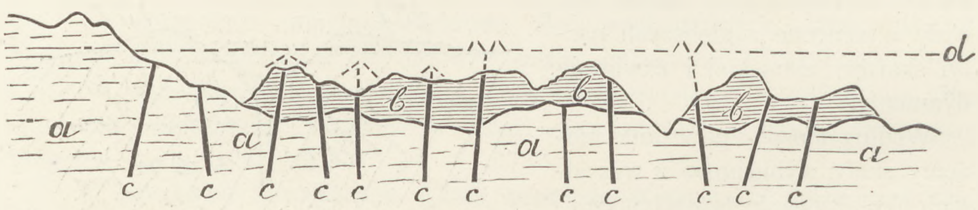
Według sposobu powstania możemy skały wybuchowe z wszystkich okresów geologicznych podzielić na dwie różne grupy. W jednym wypadku magma wydobywała się jako lawa na powierzchnię ziemi wśród zjawisk wybuchowych, niczem nie różniących się od dzisiejszych wulkanów. Inne znowu skały ostygały ze stopu, który nie zdołał przebić się aż na powierzchnię ziemi, ale wcisnął się między starsze skały i wśród nich stężał. Dopiero w ciągu długich okresów geologicznych niszczący wpływ atmosfery usunął przykrywające je warstwy osadowe i odsłonił skały wybuchowe, które kiedyś tworzyły się w pewnej głębokości pod powierzchnią ziemi. Skały wybuchowe pierwszego rodzaju nazywamy wulkanicznemi albo effuzywnemi [23]), zaś drugiego rodzaju plutonicznemi lub intruzywnemi [24]). Między jedną a drugą kategoryą skał wybuchowych zachodzą wybitne różnice.

Pierwsza grupa skał wybuchowych, skały wulkaniczne, znajdują się często w towarzystwie tufów. Z przebiegu żył, zapuszczających się w głąb ziemi, można odtworzyć dawny wulkan. Strukturę posiadają zazwyczaj porfiryczną lub szklistą (szkliwa wulkaniczne). Niekiedy są przepełnione bańkami owalnego kształtu, które pozostały po parach, uchodzących z ostygającej lawy. Bańki te bywają w jednym kierunku wydłużone i w ten sposób wskazują kierunek, w którym strumień lawy niegdyś płynął. Wydzielanie się par mogło

być tak gwałtownem, iż z lawy utworzyły się skały o ustroju żużlowatym (pumeks).

Jak w dzisiejszych wybuchach wulkanów, tak samo i dawniej zawartość par w magmie bardzo ważną odgrywała rolę. Magma, zawierająca dużo par, z łatwością przebijała się aż na powierzchnię ziemi, ulegała rozbiciu na drobne cząsteczki i dostarczała wiele popiołów, z których tworzyły się grube pokłady tufów. Natomiast magma, uboga w pary, jeżeli wogóle zdołała wydobyć się aż na powierzchnię ziemi — tworzyła dzwonowate, kopułowate wyniosłości lub rozlewała się szeroko jako gruba pokrywa.

Nieraz zdarzało się, że lawy rozlewały się na znacznej przestrzeni i pokrywały powierzchnię ziemi warstwą na setki metrów grubą. Są to t. zw. pokrywy skał wulkanicznych. Wyobraźmy sobie okolicę, zbudowaną z utworów osadowych *a* i porzeźbioną przez czynniki atmosferyczne. Wzdłuż szczelin *c* wydobywają się z głębi ziemi strumienie lawy i zalewają całą okolicę do pewnej wysokości *d*, wyrównując dawniejszą rzeźbę powierzchni ziemi. Po usta-

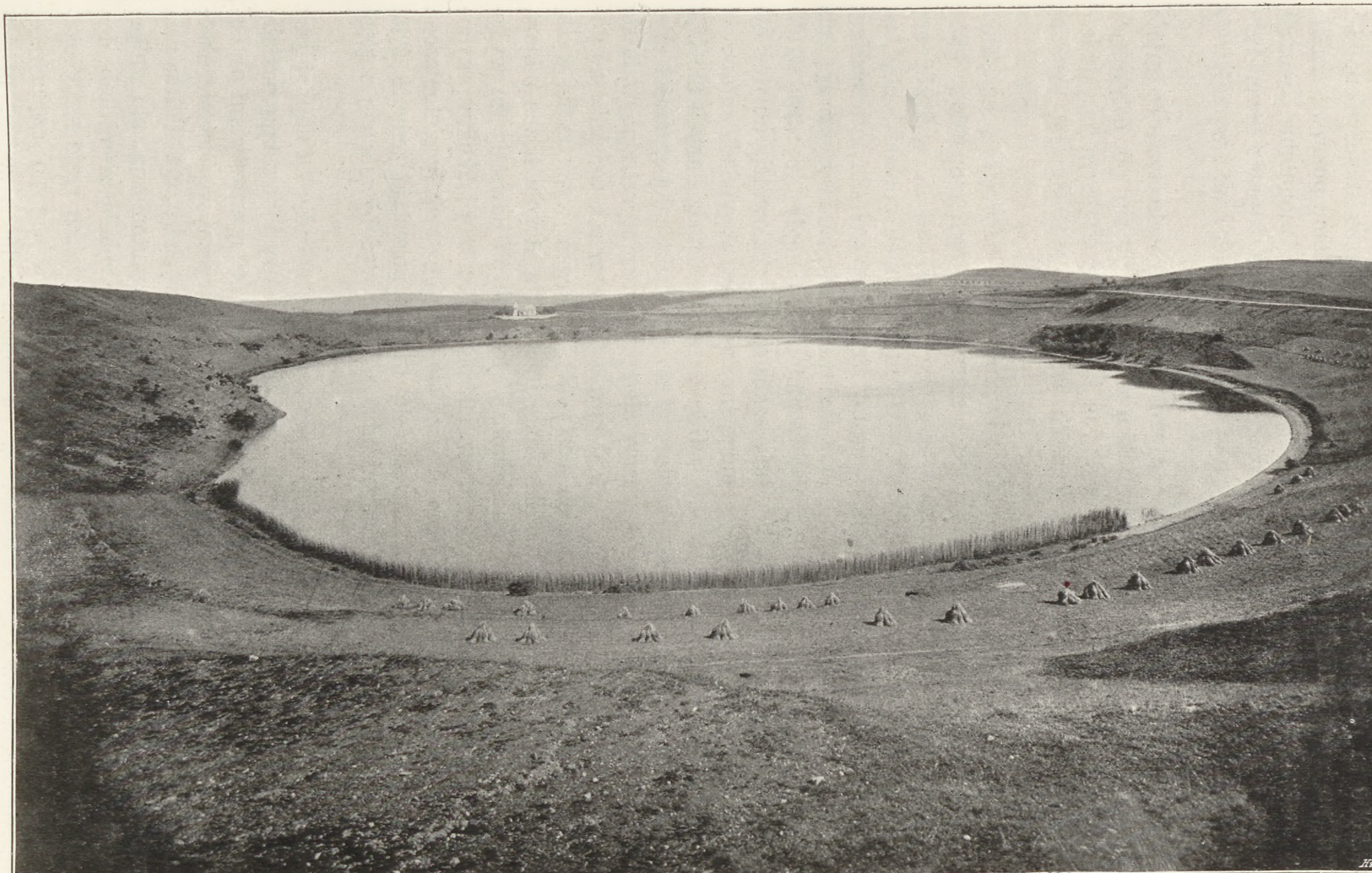


Pokrywa skał wulkanicznych na osadowych. (Według A. Geikie'go).

niu wybuchów czynniki atmosferyczne zaczynają pracować nad zniszczeniem pokrywy, a rzeki wcinają głęboko swe łożyska. Tak z czasem pokrywa skał wulkanicznych zostaje pocięta w szereg wyniosłości *b*, nasadzonych na skałach osadowych *a*.

Góry Kaskadowe (Cascade Range) w Ameryce Północnej są taką pokrywą skał wulkanicznych, zajmującą obszar równy Cesarstwu Niemieckiemu. Lawy wylały się z końcem epoki plioceńskiej i pokryły tę okolicę warstwą na 600—1200 m grubą. Mniej więcej taką samą przestrzeń zalega na wyżynach Dekanu (Indye Wschodnie) pokrywa bazaltów, które wydobyły się z głębi ziemi z końcem okresu kredowego i z początkiem trzeciorzędnego (eocen) i dochodzą do 2000 m miąższości.

W Kalifornii z końcem okresu trzeciorzędnego lawa płynęła obficie z potężnych, dziś wygasłych, wulkanów Sierry Nevady w dolinie rzeki, po żwirach i osadach rzecznych. W ten sposób powstała gruba pokrywa skał wulkanicznych. Pod bazaltem *b* znajdują się drobniejsze osady rzeczne, zmieszane z popiołami wulkanicznymi *c*, a niżej żwiry *a* dawnej rzeki, w których znachodzi się złoto. Później pokrywa bazaltowa uległa niszczącemu działaniu atmosfery. Koryta rzek *V* poprzecinały pokrywę wulkaniczną, wcięły się aż na

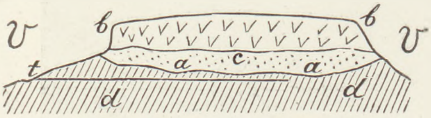


«Weinfelder Maar» w Eifel. (Według zdjęcia fotograficznego Stengla w Dreznie).

1500—2000 m poniżej dawnych łożysk i odsłoniły starsze utwory pofałdowane *d*, po których toczyły się strumienie lawy. Dzięki temu pokrywa wulkaniczna rozpadła się na t. zw. «góry stołowe» (table mountains, mesas), a zarazem odkryły się dawne doliny rzek, zalane niegdyś przez lawę. Przy pomocy tunelów *t* górnicy dostają się do żwirów dawnych rzek i wydobywają z nich złoto.

Jeżeli lawa, wydobywająca się z wulkanu, należy do tych rodzajów, które bardzo szybko krzepną, to w takim razie tworzy się po ostygnięciu wyniosłość, której kształt przypomina dzwon lub kopułę. Pięknym przykładem kopuł wulkanicznych jest grupa wygasłych wulkanów w środkowej Francyi, t. zw. «Puys».

Drugi rodzaj skał wybuchowych, skały plutoniczne odznaczają się strukturą krystaliczną, to znaczy składają się z ziarn rozmaitych minerałów, które wyraźnie dają się odróżnić. Czasem składniki mineralne są wykształcone w wielkie kryształy. Ustrój krystaliczny skał plutonicznych pochodzi stąd, że ostygały zwolna w głębszych partyach skorupy ziemskiej, pod silnym naciskiem mas skalnych, nad niemi spoczywających. Skały plutoniczne nigdy nie mają struktury szklistej lub żużlowatej, ani też nie mogą im towarzyszyć pokłady tufów.



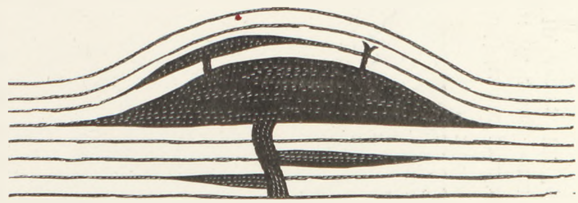
«Table Mountain» w Kalifornii. (Według J. D. Whitney'a).

Gdy nacisk par podziemnych nie wystarczał do przebicia całej grubości skorupy ziemskiej, magma zatrzymywała się pod powierzchnią ziemi, wciskała się pomiędzy skały osadowe i wśród nich rozlewała. Zarazem wypiętrzała wyżej leżące warstwy w lekko wypukłe sklepienie i wysyłała dokoła liczne odnogi, grubsze lub cieńsze żyły, zwane apofizami. W ten sposób powstały na wyżynach zachodniej Ameryki Północnej t. zw. lakkolity. Przekrój lakkolitu przypomina kształt grzyba. Im głębiej, tem szerszą staje się masa skały plutonicznej, aż wreszcie w pewnej głębokości zwęża się nagle i pozostaje jedynie żyła, wskazująca szczelinę, wzdłuż której niegdyś magma wydobywała się z głębi ziemi.

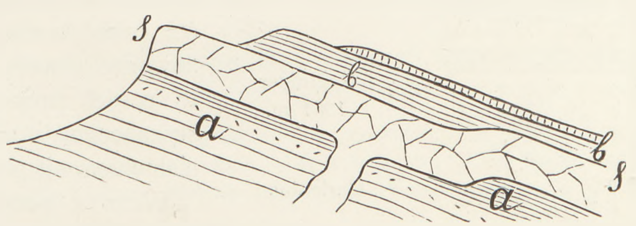
Magma, wciskająca się pomiędzy skały osadowe, natrafia na najmniejszy opór wzdłuż płaszczyzn, oddzielających rozmaite warstwy i powstają pokłady skał plutonicznych, które są wtrącone równolegle pomiędzy warstwami osadowemi. Z czasem niszczący wpływ czynników atmosferycznych odsłania skałę plutoniczną *S*, która sterczy z pośród warstw osadowych *(a, b)*. Patrząc na taki próg, możnaby napozór sądzić, że skała nie jest plutoniczną, ale wulkaniczną, że więc magma wylała się z głębi na powierzchnię ziemi lub dno morza i po stężeniu została pokrytą przez osady. W takim razie skały osadowe *b*, leżące ponad wybuchową, powinneby składać się po części z jej zwietrzałych okruchów i nie okazywać w jej pobliżu żadnych zmian. Inaczej

ma się rzecz, gdy skała wybuchowa jest plutoniczną. Wtedy bowiem warstwy osadowe (b) wyżej leżące uległy w zetknięciu ze skałą wybuchową silnej przemianie, a ich odłamki, porwane niegdyś przez wciskającą się magmę, znajdują się tu i ówdzie w skale wybuchowej. Mamy w tem niewątpliwy dowód, że skała jest plutoniczną, powstałą z magmy, która wciskała się pomiędzy warstwy osadowe, podnosiła wyżej leżące (b) i wysyłała dokoła liczne odnogi (apofizy). Oczywiście i sam charakter skały wybuchowej daje całkiem pewną wskazówkę, czy mamy do czynienia ze skałą wulkaniczną, czy też plutoniczną.

Nie zawsze magma, podnosząca się z głębi ziemi, musiała sobie szukać dopiero miejsca wśród warstw osadowych, podnosząc wyżej leżące. Często natrafiała na gotowe już ogromne wydrążenia w skorupie ziemskiej, wypełniała je i krzepła. Tak powstałe masy plutoniczne, odsłonięte z czasem przez niszczący wpływ atmosfery, tworzą potężne skały na powierzchni ziemi. Im głębiej, tem szerszemi się stają i nie kończą się — jak lakkolity — w pewnej głębokości, ale sięgają aż do nieznanej głębokości. Największe wydrążenia w głębi skorupy ziemskiej tworzyły się tam, gdzie pod wpływem sił górotwórczych warstwy osadowe



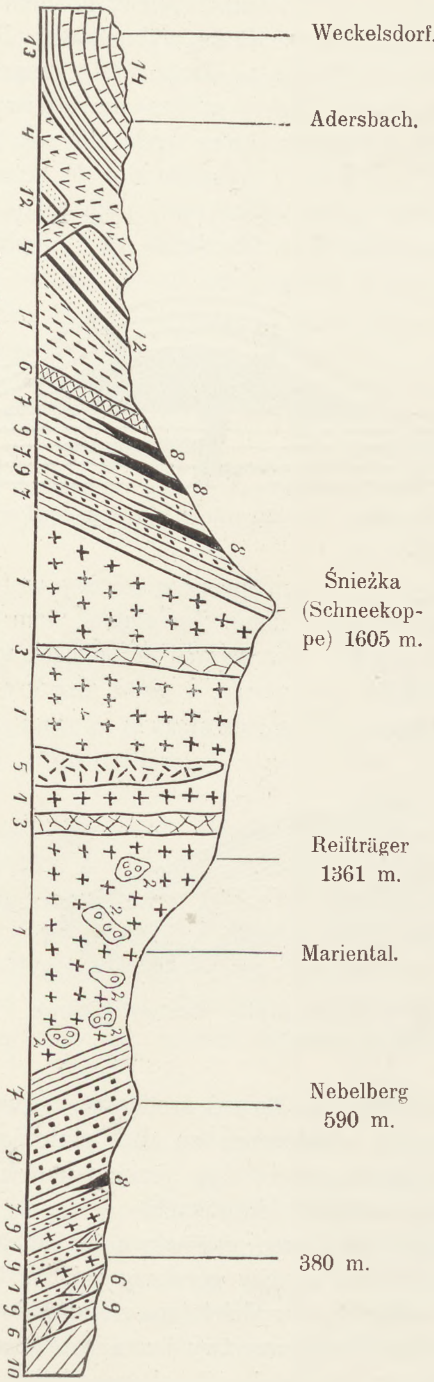
Przekrój lakkolitu wśród utworów osadowych.



Pokład skały plutonicznej, wciśnięty między warstwy osadowe. (Według A. Geikie'go).

zostały pofałdowane i wysoko wypiętrzone. To też środkowe, najwyższe partye łańcuchów górskich są zazwyczaj zbudowane ze skał plutonicznych (np. granit), które dokoła są otoczone gęstą siecią żył, przecinających sąsiednie skały jako t. zw. apofizy w najrozmaitszych kierunkach.

Magma, z której tworzyły się skały plutoniczne wewnątrz łańcuchów górskich, ostygała pod olbrzymiem ciśnieniem siły górotwórczej. Wskutek tego w niektórych partyach składniki mineralne, wydzielające się stopniowo z krzepnącej magmy, układały się w równoległe warstwy i zamiast granitów wytwarzały się gnajsy. Pary, które w olbrzymiej ilości uchodziły z stygnącej magmy, nie mogły oczywiście — jak podczas wybuchów wulkanicznych —



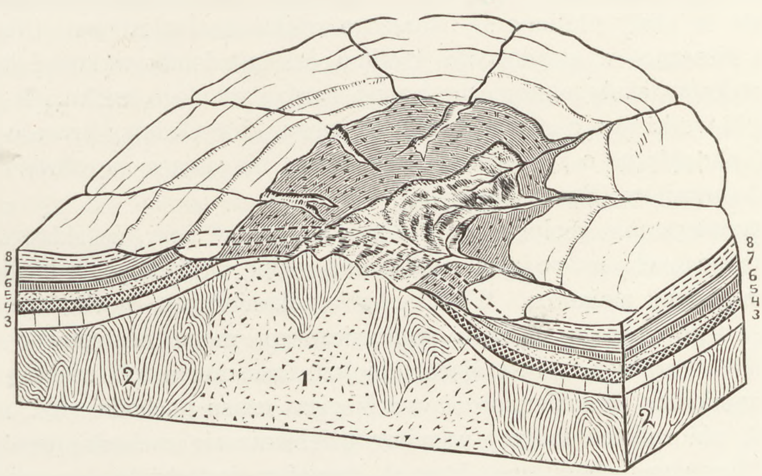
Przekrój trzonu granitowego «Gór Olbrzymich» (Riesengebirge). (Według G. Güricha).
1. granit; 2. aplit i pegmatyt; 3. granit porfirowy; 4. porfir; 5. bazalt; 6. amfibolit; 7. łupek krystaliczny; 8. soczewki krystalicznego wapienia; 9. gnajs; 10. sylur; 11. dolny karbon; 12. górny karbon z pokładami węgla; 13. perm (Rothliegendes); 14. system górnokredowy.

uchodzić na zewnątrz, ale wzdłuż najdrobniejszych szczelinek i porów przenikały otaczające skały osadowe i przemieniły je w łupki krystaliczne, marmury itp. Ten pas przemienionych (zmetamorfizowanych) skał osadowych, otaczający ze wszystkich stron skałę plutoniczną, posiada bardzo znaczną szerokość (od kilku m do kilku km). Najsilniejszą jest przemiana w bezpośredniem zetknięciu ze skałą plutoniczną; w miarę oddalania się odbywa się stopniowe przejście do skał osadowych, które nie zostały zmetamorfizowane i zachowały swój zwyczajny wygląd. W ten sposób skały plutoniczne w środkowych partyach łańcuchów górskich są zazwyczaj otoczone dokoła grubym płaszczem łupków krystalicznych, które w części przedstawiają zmetamorfizowane utwory osadowe, a w części powstały ze stopu, stygnącego pod niezmiernem ciśnieniem sił górotwórczych.

Wraz z potężnemi skałami plutonicznego pochodzenia czynniki atmosferyczne odsłaniają także żyły, które pod najrozmaitszymi kątami przecinają skały osadowe. Żyły takie są wypełnione skałą wybuchową [25]) i tem różnią się od żył kruszcowych, które są najczęściej osadem mineralnym par lub wód gorących. Jedne z żył wybuchowych są kanałami, wzdłuż których niegdyś magma podnosiła

się z głębi ziemi — inne znowu przedstawiają rozgałęzienia (apofizy), oddzielające się od głównej masy skały plutonicznej i wdzierające się szczelinami pomiędzy utwory osadowe. Żyły wybuchowe wietrzeją trudniej niż otaczające je skały wybuchowe i czasem sterczą na powierzchni ziemi jakby poszarpany mur. Tę formę występowania skał plutonicznych A. Geikie nazwał «dyke» [26]).

Od najdawniejszych czasów magma wydobywała się z głębi ziemi i dostarczała materyału, z którego tworzyły się skały plutoniczne lub wulkaniczne. W historyi ziemi trzy razy ze spotęgowaną siłą wystąpiły objawy wulkaniczne



Trzon granitowy «Czarnych Gór» (Black Hills), w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej. (Według W. M. Davis'a).

1. granit; 2. skały krystaliczne; 3. piaskowiec górno-kambryjski (Potsdam-Sandstone); 4. wapień karboński; 5. piaszczyste lub ilaste utwory tryasowe (Reds Beds), nad niemi warstwy jurajskie; 6. piaskowiec kredowy (Dokota—Sandstone); 7. łupki kredowe; 8. utwory trzeciorzędne.

i dlatego rozróżniamy trzy okresy, które odznaczają się niezwykłą obfitością zjawisk wulkanicznych, a mianowicie:

1) paleozoiczny starszy, który dochodzi do szczytu u schyłku okresu dewońskiego;

2) paleozoiczny młodszy, którego najsilniejszy rozwój przypada na początek okresu permskiego;

3) neozoiczny, rozpoczynający się z nastaniem okresu trzeciorzędnego.

Skały wybuchowe z młodszych okresów geologicznych są przeważnie wulkanicznemi, natomiast plutoniczne najczęściej pojawiają się wśród starszych utworów [27]). Stąd urosło całkiem błędne mniemanie, że tylko w dawniejszych okresach istniały warunki, sprzyjające tworzeniu się skał plutonicznych i że

ustrój krystaliczny skały wybuchowej zależy od jej wieku geologicznego. Tymczasem doświadczenia uczą, że wykształcenie skały wybuchowej zależy jedynie od warunków, wśród jakich magma ostygała, a więc od tego, czy wylała się na powierzchnię ziemi, czy też ugrzęzła w głębszych partyach skorupy ziemskiej. Nie ulega wątpliwości, że podczas wszystkich okresów geologicznych tworzyły się, a nawet i dziś muszą się tworzyć skały plutoniczne w niedostępnych dla nas głębiach skorupy ziemskiej. O ich istnieniu dowiadujemy się dopiero wtedy, gdy w ciągu nie jednej, ale całego szeregu okresów geologicznych czynniki atmosferyczne znalazły dość czasu do usunięcia bardzo grubej pokrywy utworów osadowych, osłaniającej skały plutoniczne. Dlatego to najlepiej odsłoniętemi są skały plutoniczne starszego wieku geologicznego. Gdzie jednak czynniki niszczące w stosunkowo krótkim czasie zdołały wykonać swą pracę, tam spotykamy skały plutoniczne nawet bardzo młodego wieku. I tak znane są szczątki wulkanów z okresu trzeciorzędnego, których lawy przechodzą wgłąb w skały plutoniczne o krystalicznej strukturze, nie dające się odróżnić od najstarszych granitów (Banat, Hebrydy).

Rozpatrywanie geologicznej historyi wulkanów uczy, że skład chemiczny law, wyrzucanych przez jakiś wulkan lub grupę wulkanów, z biegiem czasu ulega znacznym zmianom. Wśród skał wulkanicznych, pochodzących z law jednego i tego samego obszaru wulkanicznego, mogą następować po sobie najrozmaitsze rodzaje, zawierające mniejszą (zasadowe) lub większą (kwaśne) ilość krzemionki. Ta zmienność law z biegiem czasu pochodzi stąd, że w podziemnych zbiornikach magmy w miarę oziębiania się zachodzą bardzo zawiłe procesy fizyczne i chemiczne, których wynikiem jest dzielenie, rozszczepianie się (dyfferencyacya) jednej pierwotnej magmy na rozmaite pochodne. Dotychczasowe próby wyszukania jakiegoś ogólnego, dla wszystkich wulkanów obowiązującego prawidła następowania po sobie law o różnym składzie zawiodły. Przekonano się natomiast, że ten porządek dla każdego obszaru wulkanicznego jest innym. Wobec tego bardzo prawdopodobnem staje się przypuszczenie, że wulkany nie łączą się bezpośrednio z wnętrzem ziemi, ale że każdy obszar wulkaniczny posiada swoje zupełnie odrębne, olbrzymich rozmiarów ognisko magmy w głębi skorupy ziemskiej, które z jednej strony łączy się kanałami z wnętrzem ziemi i stamtąd czerpie swój zapas magmy, a z drugiej strony wysyła przewody wulkanów ku powierzchni ziemi.

* * *

Zanim zakończymy rozdział o zjawiskach wulkanicznych, wypada jeszcze poświęcić kilka słów objawom wulkanicznym, których widownią były w r. 1902 wyspy Martynika i St. Vincent. Wybuchy wulkaniczne na Małych Antyllach w r. 1902 zasługują na szczególną uwagę nie tylko z powodu pamiętnej zagłady miasta St. Pierre na Martynice razem z 30 tys. mieszkańców w jednej chwili, ale i dlatego, że wzbogaciły naszą znajomość zjawisk wulkanicznych o kilka nowych szczegółów, bliżej zbadanych dzięki trzem wyprawom naukowym, które na wiadomość o katastrofie na Martynice wysłano z Francyi, Anglii i ze Stanów Zjednoczonych.

Wulkan Mt. Pelée na Martynice, który od ostatniego wybuchu w r. 1851 zachowywał się całkiem spokojnie, odezwał się z końcem kwietnia 1902 i wielkie chmury dymu ukazały się u jego szczytu. Z początkiem maja deszcze popiołu w okolicy wulkanu wzmagały się z dnia na dzień, a potężne strumienie szlamu stoczyły się doliną rzeczki, która od szczytu wulkanu spływa do morza niedaleko miasta St. Pierre. Wreszcie 8 maja tuż przed 8 godziną rano gwałtowny wybuch w jednej chwili zniszczył razem z mieszkańcami miasto St. Pierre, które znajdowało się u stóp wulkanu na brzegu morza. W przebiegu wybuchu Mt. Pelée szczególną uwagę zwracają na siebie dwa zjawiska, które dla naszej znajomości objawów wulkanicznych są nowością.

Przedewszystkiem nasuwa się pytanie, w jaki sposób miasto St. Pierre razem ze swoją ludnością zostało w jednej chwili zniszczone.

Zwykle wybuch tak się odbywa, że wulkan wyrzuca w górę ze swego krateru chmury pary wodnej i innych lotnych produktów wulkanicznych, zmieszanych z rozbitym lub stopionym materyałem skalnym (bomby, popiół), który zależnie od wielkości prędzej lub później spada w okolicy wulkanu. Całkiem inaczej zachowały się chmury, które wydobywały się z krateru Mt. Pelée, zarówno podczas zagłady miasta St. Pierre, jak i przy późniejszych wybuchach, już przed oczami uczestników wspomnianych wypraw naukowych. Zamiast wzbijać się wysoko w górę i zwolna rozpraszać w atmosferze, zaraz po wydobyciu się z krateru jakby lawiny staczały się po stokach wulkanu ze znaczną chyżością, z czego można wnosić, że w przeciwieństwie do innych znanych wybuchów u Mt. Pelée chmury były znacznie cięższe od powietrza atmosferycznego. Gdy zsunęły się po stokach wulkanu aż do brzegu morza, jeszcze długo toczyły się zwolna po powierzchni wody, stopniowo rozpraszały się i znikały. Chmury te składały się z lotnych produktów wybuchowych, zmieszanych z drobnym materyałem skalnym. Po wyrzuceniu z krateru chmury roszerzały się wskutek prężności par, uwolnionych nagle od ogromnego ciśnienia, pod jakiem znajdowały się w głębi ziemi. Kształt chmur zdradzał, że pary znajdują się w ciągłym ruchu i tworzą gwałtowny wir, dzięki czemu drobny materyał skalny utrzymywał się przez pewien czas w zawieszeniu i stopniowo osadzał

się na drodze chmury po stokach wulkanu. Z lotnych produktów wybuchowych najważniejszym składnikiem chmur była para wodna, ale obok niej znajdowały się i połączenia siarki, tlenek i dwutlenek węgla i t. p. Wszystko razem posiadało wysoką temperaturę, która musiała wynosić co najmniej kilkaset stopni. Rzecz jasna, że takie olbrzymie gorące chmury, które po wyrzuceniu z krateru staczały się po stokach wulkanu ze znaczną chyżością i jak huragan wszystko przed sobą zmiatały, znaczyły swą drogę zupełnem zniszczeniem. Pierwsza tego rodzaju chmura wydobyła się z krateru Mt. Pelée 8 maja rano, a tocząc się szybko po stokach, natrafiła na miasto St. Pierre i w jednej chwili spowodowała jego zagładę. Gwałtowny prąd powietrza zamienił całe miasto z gruzy, gorące pary, które wszędzie przeniknęły, zabiły całą ludność i wznieciły pożar, a opadający popiół wulkaniczny przysypał gruzy. Uczony amerykański Heilprin, który zwiedzał gruzy St. Pierre, opowiada, że miasto wyglądało «jakby zmiecione wystrzałem armatnim». Świadkowie, którzy z daleka patrzyli na katastrofę St. Pierre, widzieli jak ogromna czarna chmura z wirującemi iskrami i płomykami pędziła z nadzwyczajną szybkością po stokach Mt. Pelée ku St. Pierre. Ci, którzy znajdowali się w mniejszej odległości od katastrofy, doznali wrażenia, jak gdyby w pobliżu przejechał szybko pociąg pospieszny.

Drugiem bardzo ciekawem zjawiskiem były zmiany, jakie zaszły w kraterze Mt. Pelée w czasie wybuchów w r. 1902. Podczas swoich wybuchów wulkan Mt. Pelée wyrzucał tylko magmę, rozbitą przez pary na bomby i popiół wulkaniczny, ale nie dostarczył wylewu lawy poza obręb krateru. Wypływ magmy z głębi ograniczył się tylko do wnętrza krateru i tutaj krzepnąca magma przybrała dziwny kształt, jakiego dotąd nigdy nie obserwowano. Magma, która wydobywała się z głębi i powoli wypełniała obszerne zagłębienie krateru, była gęstą i bardzo szybko tężała. Dalsze dopływy magmy z głębi stopniowo wypiętrzały skrzepłą już magmę i w ten sposób zbudowały wewnątrz krateru wyniosłość w kształcie kopuły. Z wierzchołka tej kopuły zaczął wysuwać się w górę słup stężałej magmy, ostro zakończony, o bardzo stromych, prawie pionowych ścianach. Geologowie, którzy przez dłuższy czas śledzili podnoszenie się tego słupa, nazwali go «igłą skalistą». Wysokość ciągle się zmieniała, nieraz z dnia na dzień. W listopadzie 1902 wysuwał się w górę przeciętnie o przeszło 10 m dziennie, a w połowie r. 1903 osiągnął swą największą wysokość, która w tym czasie wynosiła 350 m. Ale wnet potem zaczął się szybko obniżać i wreszcie znikł prawie zupełnie. Powstanie tego słupa tak się tłómaczy: Dalsze dopływy magmy z głębi nie mogły się pomieścić wewnątrz wspomnianej kopuły, która w bardzo krótkim czasie pokryła się grubą skorupą stężałej magmy. Wskutek tego magna, parta z głębi, przebiła u wierzchołka kopuły otwór i tędy znalazła ujście na zewnątrz. Ale magma, wydobywająca się z głębi wulkanu Mt. Pelée, odznaczała się tą wła-

ściwością, że była bardzo gęstą i nadzwyczaj szybko pokrywała się skrzepłą skorupą. To też po wyciśnięciu z kopuły przez otwór była już na zewnątrz do tego stopnia stężałą, że nie rozlewała się, ale zatrzymywała kształt prostego słupa, podobnie jak wyrabia się drut za pomocą przeciągania metalu przez mały otwór.

Prawie równocześnie z Mt. Pelée odezwał się wulkan Soufrière na wyspie St. Vincent, po 90 latach prawie zupełnego spokoju. Poprzedzony częstemi trzęsieniami ziemi, wybuch wulkanu Soufrière zaczął się 6 maja 1902 wyrzucaniem ogromnych chmur pary wodnej. Nazajutrz w dolinach, wyżłobionych w stokach wulkanu, ukazały się obfite strumienie gorącej wody, a zaraz potem nastąpił gwałtowny wybuch rozbitych mas skalnych, popiołów i t. p., które północną część wyspy zasypały grubym pokładem. Około 1600 ludzi padło ofiarą tego wybuchu.

Gwałtowne wybuchy wulkanów Mt. Pelée i Soufrière z początkiem maja 1902 r. były wstępem do dłuższego okresu wybuchowego obu wulkanów. Ich czynność wybuchowa trwała dalej w ciągu łat 1902 i 1903 i od czasu do czasu po krótkich przerwach wzmagała się do bardzo silnych paroksyzmów, które jeszcze sporo ofiar pochłonęły. W czynności wybuchowej obu wulkanów można dostrzedz pewną sympatyę. Daty niektórych gwałtownych paroksyzmów wybuchowych Mt. Pelée i Soufrière okazują bardzo małą różnicę. Najlepiej widać to zaraz z początkiem czynnności wybuchowej, kiedy katastrofa w St. Pierre nastąpiła w niespełna 1 dobę po pierwszym silnym wybuchu wulkanu Soufrière.

Wyspy Martynika i St. Vincent należą do grupy Małych Antyllów i są dość blizko siebie położone, bo przegradza je tylko wyspa St. Lucia. Łuk Małych i Wielkich Antyllów, oddzielający Morze Karaibskie od Oceanu Atlantyckiego, przedstawia resztki dawnego łańcucha górskiego, który zapadł się i został zalany przez morze. Dalszem przedłużeniem tego samego łańcucha są pasma górskie, które ciągną się wpoprzek środkowej Ameryki (Honduras, Guatemala). I tutaj r. 1902 zaznaczył się licznemi trzęsieniami ziemi i gwałtownem odezwaniem się wulkanów. W Guatemali trzęsienia ziemi stały się w tym czasie prawie codziennem zjawiskiem i od czasu do czasu potęgowały się do gwałtownych wstrząśnień. Najsilniejsze trzęsienie nawiedziło Guatemalę 18 kwietnia 1902 i było jedną z pierwszych oznak, że w tej części skorupy ziemskiej odbywają się wielkie zaburzenia. Z objawów wulkanicznych wspomnieć wypada o gwałtownym wybuchu wulkanu St. Maria w Guatemali, który dotąd uchodził za wygasły. Wybuch ten rozpoczął się 24 października 1902. Przez dwa tygodnie wulkan wyrzucał ogromną ilość popiołów, które znaczny obszar dokoła pokryły grubą warstwą.

Ponieważ Antylle razem z pasmami górskiemi środkowej Ameryki tworzą ze względu na budowę geologiczną jedną całość, więc należy przypuścić, że trzęsienia ziemi i zjawiska wulkaniczne, których widownią były Małe Antylle

i środkowa Ameryka w latach 1902 i 1903, a z których podnieśliśmy tylko kilka najważniejszych i najciekawszych momentów — pozostawały ze sobą w ścisłym związku i miały wspólną przyczynę. Ta część skorupy ziemskiej, którą tworzą Antylle i ich przedłużenie w środkowej Ameryce, przebyła w tym czasie okres bardzo silnych ruchów i zaburzeń, które odbywały się w głębi, a na powierzchni ziemi objawiły się trzęsieniami i wybuchami wulkanów.

IV.

Człowiek przywykł uważać ląd za coś tak niewzruszonego, iż w przeciwieństwie do ruchliwego, zawsze ożywionego morza mówi o «lądzie stałym». Nie dziw więc, że trzęsienia ziemi, które zamieniają osady ludzkie w stosy gruzów i pochłaniają nieraz tysiące ofiar, od najdawniejszych czasów wywoływały ogromne przerażenie i pobudzały umysł ludzki do zastanawiania się nad przyczynami tak potężnego i groźnego zjawiska. Ale długi szereg wieków upłynął, zanim poznano nieco bliżej naturę trzęsień ziemi. Jak na każdem polu badań geologicznych, tak też i tutaj ostatnie dziesiątki lat XIX. wieku przyniosły nadzwyczajne zdobycze. Dzięki im nauka o trzęsieniach ziemi tak się rozwinęła, iż dziś jako s e j s m o l o g i a stanowi osobną, najmłodszą gałęź geologii.

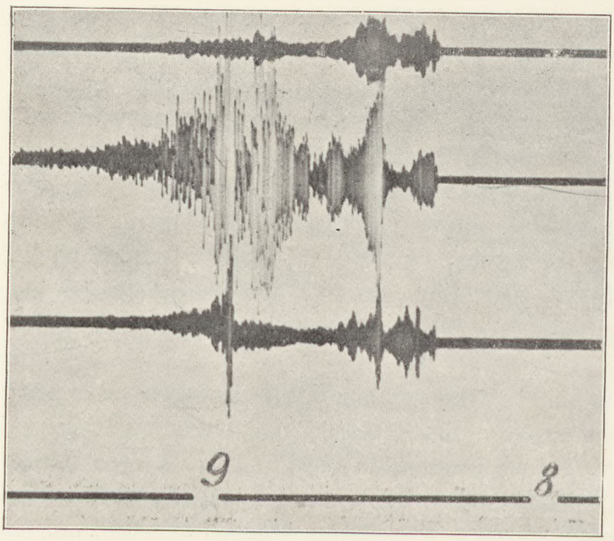
Największym postępem w badaniu trzęsień ziemi było wynalezienie i udoskonalenie przyrządów, zwanych sejsmografami, które z nadzwyczajną ścisłością zapisują czas, rozchodzenie się i t. d. trzęsienia ziemi. Wskutek tego nauka przestała być zdaną na łaskę przygodnych i niefachowych oberwatorów, którzy pod wpływem grozy zjawiska raczej o wszystkiem innem pamiętali, aniżeli o robieniu dokładnych spostrzeżeń. Zamiast niepewnych wiadomości posiadamy dziś samozapisujące sejsmografy, które za każdem drgnieniem powierzchni ziemi rysują na kawałku papieru linię krzywą lub zygzakowatą (sejsmogramy).

Najczulszym przyrządem do regestrowania drgań powierzchni ziemi okazało się wahadło poziome, które za najsłabszem drgnieniem może się obracać podobnie, jak np. drzwi w zawiasach. Przy pomocy wahadła poziomego dowiadujemy się o drganiach powierzchni ziemi bardzo częstych, a jednak tak nieznacznych, iż najzupełniej usuwają się z pod spostrzegania zmysłowego (ruchy mikrosejsmiczne). Jedne z nich są odgłosem bardzo dalekich trzęsień ziemi, dostającym się do nas nawet z innych części świata. Sejsmogram, zanotowany przez wahadło poziome, pozwala nam z wielkiem przybliżeniem odczytać, w jakiej odległości zaszło gdzieś dalekie trzęsienie ziemi. W ten sposób możemy otrzymać wiadomość o trzęsieniach w krajach niezamieszkałych, lub w obrębie oceanów, gdzie brak jakichkolwiek spostrzeżeń na miejscu. Inne

znowu ruchy mikrosejsmiczne powstają pod wpływem przyczyn, leżących nie w głębi, ale zewnątrz ziemi, np. zmian w ciśnieniu atmosferycznem. Takie drgania sięgają na kilkadziesiąt i kilkaset m w głąb skorupy ziemskiej.

Nie wszystkie kraje są w jednakowej mierze nawiedzane przez trzęsienia ziemi. Jak później się przekonamy, trzęsienia ziemi po największej części są przywiązane do zaburzeń w budowie skorupy ziemskiej. To też w okolicach, gdzie skorupa ziemska stosunkowo niedawno uległa silnemu pomarszczeniu i połamaniu, prawdopodobieństwo trzęsienia ziemi jest daleko większem, aniżeli w krajach, których budowa geologiczna jest regularną lub gdzie pęknięcia w skorupie ziemskiej już dawno się zabliźniły.

Te państwa, które najczęściej bywają nawiedzane przez trzęsienia ziemi (Włochy, Japonia), posiadają doskonale zorganizowaną sieć stacyi, w których znajdują się przyrządy sejsmograficzne i dają znać o najlżejszem wstrząśnieniu. Po katastrofie w Lublanie (14-go kwietnia 1895) Akademia Umiejętności we Wiedniu zajęła się urządzeniem we wszystkich krajach koronnych stacyi, które posiadają przyrządy sejsmograficzne i w których bezustannie są prowadzone badania nad drganiami skorupy ziemskiej. Tego rodzaju stacya znajduje się w Szkole Politechnicznej we Lwowie.



Sejsmogram dalekiego trzęsienia ziemi, zapisany przez wahadła poziome w Politechnice lwowskiej 9 sierpnia 1901 wieczorem. Najniższa linia podaje czas, a mianowicie każda przerwa oznacza jedną godzinę.

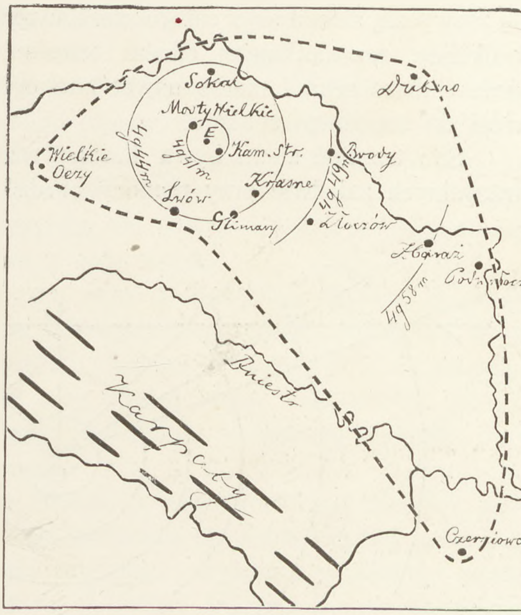
Pod względem trzęsień ziemi Polska należy do najszczęśliwszych krajów. Wiadomości, jakie się przechowały się o trzęsieniach w obrębie ziem polskich, wspominają o słabych wstrząśnieniach, ograniczonych przeważnie do bardzo małego obszaru. Jedyne trzęsienie, które zajęło większy obszar i o którem posiadamy dokładniejsze szczegóły, nawiedziło w r. 1875 wschodnią Galicyę.

Geologa przedewszystkiem zajmują nie owe nieznaczne drgania powierzchni ziemi, ale właściwe trzęsienia jako objaw sił, które mają swe źródło w głębi ziemi.

Weźmy pod uwagę najprostszy przypadek, gdy wstrząśnienie rozchodzi

się z jednego punktu, położonego w pewnej głębokości pod powierzchnią ziemi. Liczne obliczenia wykazały, że ten środek (centrum, hipocentrum) trzęsienia znajduje się zazwyczaj w głębokości kilku lub kilkunastu, a nieraz nawet kilkudziesięciu km pod powierzchnią ziemi. Z ogniska w głębi skorupy ziemskiej fale trzęsienia rozchodzą się we wszystkich kierunkach z szybkością bardzo rozmaitą, zależnie od rodzaju skał, przez które przechodzą. W skałach zwięzłych chyżość rozchodzenia się jest daleko większą, aniżeli w utworach zbudowanych z luźnego materyału.

Na powierzchni ziemi wstrząśnienie z głębi najpierw udziela się miejscu, zwanemu epicentrum, które leży pionowo nad ogniskiem. Stąd trzęsienie rozszerza się po powierzchni, zataczając coraz szersze kręgi. W epicentrum jest najsilniejsze, a w miarę oddalania się od niego słabnie coraz bardziej i coraz później daje się uczuć. Zarazem, jak to widać z załączonego rysunku (por. rys. na str. 66), fale wstrząśnienia wychodzą na powierzchnię pod coraz mniejszym kątem (1, 2, 3 i t. d.). Pęknięcia w ścianach budynków są zazwyczaj prostopadłe do kierunku, w jakim fale wstrząśnienia wychodzą z głębi skorupy ziemskiej.



- - - - - Obszar trzęsienia.

Trzęsienie ziemi w Galicyi wschodniej d. 17 sierpnia 1875. (Według F. Kreutza).

Najlepszy obraz rozchodzenia się trzęsień ziemi dają linie, zwane izosejstami lub homosejstami, a łączące na mapie te punkty, które o tym samym czasie doznały wstrząśnienia. Gdyby trzęsienie rozchodziło się z jednego punktu, a skorupa ziemska była jednostajnie zbudowaną, izosejsty powinny być regularnemi kołami. Ale bardzo często zamiast z jednego punktu trzęsienie rozchodzi się z całej linii, która przedstawia jakieś pęknięcie w skorupie ziemskiej, a przytem skorupa ziemska mało gdzie jest na większej przestrzeni jednostajnie, z tych samych skał zbudowaną. Także od nierówności powierzchni ziemi w wysokim stopniu zależy szybkość, z jaką się rozchodzi trzęsienie. To też izosejsty zazwyczaj już w niewielkiej odległości od epicentrum tracą swój regularny przebieg.

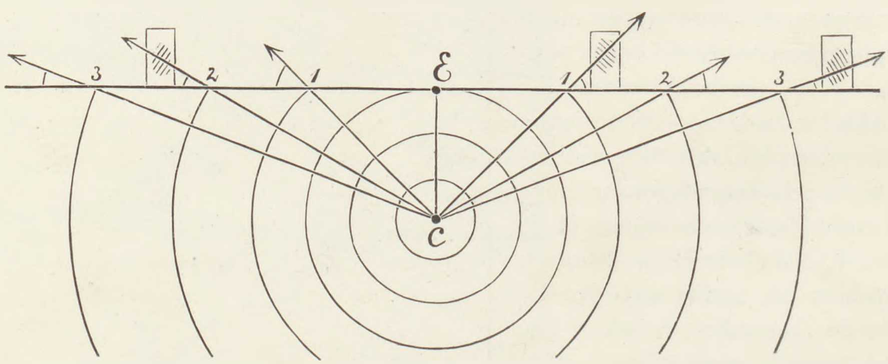
Od siły wstrząśnienia zależy, do jak wielkiej odległości od epicentrum

trzęsienie daje się jeszcze bezpośrednio, przy pomocy zmysłów uczuć. W pewnem oddaleniu ustają wyraźne wstrząśnienia, ale nieznaczne drgania powierzchni ziemi rozchodzą się bardzo daleko, przy silniejszych trzęsieniach nawet po całej ziemi i wprawiają w ruch przyrządy sejsmograficzne.

Często trzęsienia ziemi poprzedza huk lub szum podziemny, którego przyczyną jest prawdopodobnie zapadanie się podziemnych wydrążeń lub wzajemne ocieranie się mas skalnych o siebie.

Trzęsienie ziemi prawie nigdy nie ogranicza się do jednego wstrząśnienia, ale zazwyczaj składa się z całego szeregu wstrząśnień. Najczęściej zdarza się, że w okolicy, raz dotkniętej silnem trzęsieniem, przez długi czas odzywają się coraz słabsze echa i nieraz nawet lata upływają, zanim skorupa ziemska powróci do zupełnego spokoju.

Siła trzęsień ziemi bywa bardzo rozmaitą. Od najsłabszych drgań, dostrzegalnych zaledwie przy pomocy bardzo czułych przyrządów, mamy wszy-



Rozchodzenie się trzęsienia ziemi. *C*, środek trzęsienia; *E*, epicentrum.

stkie przejścia, aż do tak silnych wstrząśnień, iż powierzchnia ziemi faluje jakby woda! Rozchodząc się po powierzchni ziemi, trzęsienia znaczą swą drogę mniejszem lub większem zniszczeniem. W przeciągu kilku sekund, lub co najwyżej minut, budynki zostają zburzone i grzebią nieraz tysiące mieszkańców w swych gruzach, ziemia pęka, jedne źródła znikają, podczas gdy nowe wytryskują, a pochyłe stoki gór usuwają się gwałtownie, zasypują okruchami skał urodzajne doliny i tamują bieg rzek. Wielkość obszaru, dotkniętego trzęsieniem i rozmiary zrządzonych przez nie szkód zależą wprawdzie w pierwszym rzędzie od siły wstrząśnienia, ale i budowa geologiczna okolicy nie pozostaje bez wpływu. Na gruncie skalistym skutki trzęsienia ziemi są daleko mniej dotkliwe, aniżeli w obrębie młodych, luźnych utworów, których cząsteczki za najlżejszem wstrząśnieniem przesuwają się i zmieniają swe wzajemne położenie. Ten wypadek zdarza się np. wtedy, gdy pod warstwą zwięzłą znajdują się pokłady piasku, przesiąkniętego wodą. Wskutek wstrząśnienia

warstwa zwięzła pęka, a pod jej naciskiem strumienie wody, zmieszanej z piaskiem, tryskają z głębi szczelin wysoko w górę i zalewają nizko położone okolice. Zdarza się to najczęściej nad rzekami lub na wybrzeżach morza, gdzie znajdują się nagromadzenia młodych, luźnych osadów.

Najzgubniejszymi są skutki trzęsienia ziemi na płaskich brzegach morza. Wstrząśnienie lądu udziela się wodzie, które zrazu cofa się od brzegów, a później powraca, nagle wznosi się bez porównania wyżej, aniżeli przy najsilniejszym przypływie morza, i szeroko rozlewa się po wybrzeżach, zmiatając z powierzchni całe osady z ich mieszkańcami.

Podobnie jak ląd stały, tak samo i morze ulega czasem trzęsieniom, których przyczyną bywają wstrząśnienia dna morskiego lub wybuchy podmorskich wulkanów. Trzęsienia na pełnem morzu daleko łatwiej uchodzą naszej uwagi, aniżeli na lądzie, nie zawsze bowiem w danem miejscu znajduje się jakiś okręt. Ale nieraz można się spotkać z opisami żeglarzy, jak statki przy najpiękniejszej pogodzie naraz zaczynają się chwiać i kołysać jakby podczas silnej burzy, przyczem słychać szum z głębi morza.

Niejednokrotnie szukano związku między trzęsieniami ziemi a porami dnia i roku, stanem słońca i księżyca, lub innemi zjawiskami, ale próby w tym kierunku nie przyniosły żadnego rezultatu. Natomiast stwierdzono, że trzęsienia ziemi bardzo często wydarzają się przy nizkim stanie barometru, wówczas bowiem ciśnienie atmosferyczne jest zmiejszone i skorupa ziemska może łatwiej zostać wytrąconą z równowagi.

Bardzo często zauważono, że niektóre zwierzęta okazują niepokój przed trzęsieniem ziemi. Widocznie zwierzęta, wyposażone w nadzwyczaj czułe zmysły, najprędzej odczuwają pierwsze, najsłabsze drgania i podziemne szmery.

Rozmaite zjawiska mogą stać się powodem trzęsień ziemi. Ze względu na przyczynę dzielimy trzęsienia ziemi na trzy rodzaje.

Zapadanie się podziemnych wydrążeń bywa jedną z przyczyn trzęsień ziemi. Pokłady skał łatwo rozpuszczalnych ulegają wypłukaniu przez wodę, krążącą pod ziemią, a powstałe w ten sposób wydrążenia podziemne zapadają się i powodują trzęsienie ziemi. Takie trzęsienia są przywiązane do okolic, gdzie występują większe pokłady skał, które woda z łatwością rozpuszcza (np. sól, gips, wapień).

Inny rodzaj trzęsień ziemi ma swe źródło w wybuchach wulkanów. Te trzęsienia są ograniczone do najbliższego sąsiedztwa czynnych wulkanów i zdarzają się podczas okresu spotęgowanej czynności wulkanicznej. Najczęściej dają się uczuć wtedy, gdy po dłuższym okresie spoczynku pary podziemne pracują nad przebiciem zatkanego komina.

Trzęsienia ziemi, których przyczyna leży w zapadaniu się podziemnych wydrążeń, lub w wybuchach wulkanicznych — są zwykle ograniczone do małego stosunkowo obszaru i nie powodują katastrof na większe rozmiary. Natomiast owe wielkie trzęsienia, które obejmują ogromne obszary i zrządzają

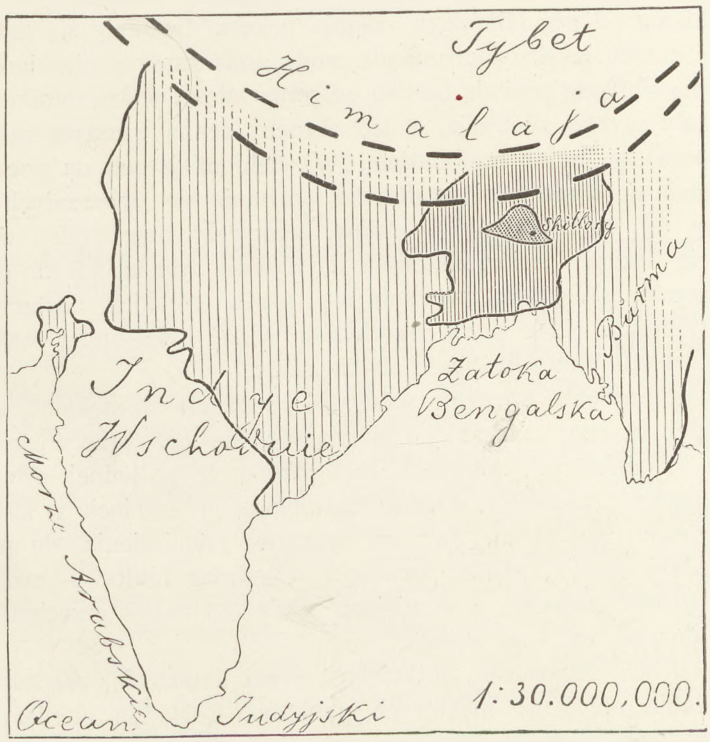
straszne spustoszenia, mają swe źródło w tej sile, która powoduje marszczenie się i pękanie skorupy ziemskiej i która w ciągu minionych okresów geologicznych stworzyła potężne wyniosłości i zagłębienia na powierzchni ziemi. Prawdopodobnie siły górotwórcze niegdyś działały z większą potęgą aniżeli obecnie, ale, jak każde zjawisko geologiczne, tak samo marszczenie się i pękanie skorupy ziemskiej nie odbywało się nagle, lecz stopniowo w ciągu bardzo długich okresów. To też budowa skorupy ziemskiej dotąd nie jest ostatecznie wykończoną. W tych obszarach, które niegdyś były widownią silnych zaburzeń w budowie skorupy ziemskiej, i dziś jeszcze od czasu do czasu odzywają się siły górotwórcze i powodują trzęsienia ziemi, zwane tektonicznemi lub dyzlokacyjnemi. Bliższe zbadanie ogniska, rozchodzenia się i t. p. tektonicznego trzęsienia ziemi pozwala wykryć jego ścisły związek z jakiemś pęknięciem w skorupie ziemskiej. Jak to Suess wykazał, trzęsienia ziemi w południowych Włoszech i w Dolnej Austryi rozchodzą się zawsze z tych samych linii, które odpowiadają głębokim pęknięciom i zaburzeniom w budowie skorupie ziemskiej. Podobnie np. trzęsienia ziemi w okolicach nad wschodnią częścią Morza Śródziemnego mają swe ognisko w liniach, których kierunek wypada w przedłużeniu Adryatyku i Morza Czarnego, a te zagłębienia powstały w najmłodszych epokach geologicznych wskutek zapadania się skorupy ziemskiej.

Silne i rozległe trzęsienia w okolicach wulkanicznych są także pochodzenia tektonicznego. Jak wiadomo, wulkany leżą na głębokich pęknięciach w skorupie ziemskiej, a właśnie te pęknięcia bywają ogniskiem trzęsień tektonicznych. To też często trzęsienie ziemi tektoniczne, gdy nawiedza obszar wulkaniczny, może stać się powodem spotęgowania czynności wybuchowej wulkanów [28]). Tego rodzaju wypadek zachodził najprawdopodobniej na wyspie Martynice, przy wybuchu wulkanu Mont Pelée który doszczętnie zniszczył miasto St. Pierre (8 maja 1902). Morze Karaibskie i jego otoczenie (Antylle, Ameryka Środkowa) przedstawiają obszar, który podczas niedawnych epok geologicznych był widownią powstawania głębokich pęknięć i zapadania się skorupy ziemskiej. Trzęsienie ziemi w Guatemali (18 kwietnia 1902), które poprzedziło wybuch wulkanów na wyspach Martynice i St. Vincent, mogło bardzo łatwo odnowić dawne pęknięcia w skorupie ziemskiej i ułatwić podziemnym parom ujście na zewnątrz.

Przez długi czas trzęsienie ziemi w Lizbonie (1755) uchodziło za największe ze wszystkich znanych i jako takie jest przytaczane niemal we wszystkich podręcznikach geologii. Dopiero niedawno przekonano się, że wiadomości o trzęsieniu ziemi w Lizbonie były w znacznej części przesadzone i że jego rozmiary nie mogą iść w porównanie ze straszną katastrofą, jaka nawiedziła Indye Wschodnie 12 czerwca 1897 po godz. 5 po poł. To trzęsienie ziemi było niewątpliwie największem ze wszystkich, jakie nam historya przekazała, objęło bowiem obszar około 3,120.000 km², a zatem blizko 2 razy większy, aniżeli trzęsienie lizbońskie z r. 1755. Na przestrzeni 400.000 km² trzęsienie

było tak silnem, iż żaden budynek murowany nie ocalał. Najlepiej poznamy skutki trzęsień ziemi, gdy przypatrzymy się bliżej tej katastrofie.

Ogniskiem trzęsienia była wyżyna Shillong w prowincyi Assam, nad dolnym biegiem rzeki Brahmaputra. Wyżyna ta jest zbudowana ze starych skał wybuchowych i krystalicznych, pokrytych płasko przez utwory wieku



Obszar trzęsienia. Obszar najsilniejszego wstrząśnienia. Epicentrum.

Obszar trzęsienia ziemi w Indyach Wschodnich 12 czerwca 1897. (Według R. D. Oldham'a).

kredowego. Najwyższe góry Khasi i Garo Hills sięgają prawie do 2000 m wysokości. W tej to wyżynie musiały się odezwać siły górotwórcze i spowodowały trzęsienie ziemi.

W zachodniej części prowincyi Assam trzęsienie nastąpiło o godz 5 m. 15 po poł. i stąd w przeciągu 10 minut rozszerzyło się po całym obszarze z szybkością około 3 km na sekundę. Trzęsienie zapisały przyrządy sejsmograficzne w następujących stacyach europejskich: Casamicciola (na wyspie Ischii), Catania, Rzym, Siena, Padwa we Włoszech; Grenoble we Francyi;

Strassburg, Poczdam w Niemczech; Newport (na wyspie Wight), Edynburg w Anglii.

W obrębie epicentrum trzęsienie było nadzwyczaj silnem. I tak w mieście Shillong ziemia wyraźnie falowała, a pionowe wstrząśnienia dochodziły do 20 cm wysokości.

Na równinach nad rzeką Brahmaputra, której szeroka dolina oddziela wyżynę Shillong od gór Himalaya, ziemia pękała, tworzyły się lejkowate zagłębienia, a z nich tryskały strumienie wody zmieszanej z piaskiem.

Wyżyna Shillong posiada bardzo wilgotny klimat podzwrotnikowy. Wskutek tego skały szybko wietrzeją, a ich okruchy grubą warstwą zalegają stoki wyżyny i porastają bujną roślinnością. W wielu miejscach na pochyłych stokach trzęsienie spowodowało gwałtowne usuwanie się zwietrzałych mas skalnych. Masy te, staczając się w doliny, tamowały bieg rzek i wywoływały tworzenie się licznych jezior, z których największe było na 2,5 km długie, a na 1,75 km szerokie. Wskutek usuwania się stoków górskich nastąpiła zupełna zmiana krajobrazu. Gdzie przed trzęsieniem widać było bujną szatę roślinną, tam po katastrofie sterczały nagie, dzikie skały.

Podczas trzęsienia wyraźnie wystąpiło tworzenie się pęknięć, sięgających daleko w głąb skorupy ziemskiej i ciągnących się bez przerwy na znacznej przestrzeni. W niektórych miejscach stwierdzono, że po jednej stronie pęknięcia skały zostały przesunięte w górę; największe przesunięcie w kierunku pionowym wynosiło do 11 m. Tak np. wskutek podniesienia się powierzchni ziemi po jednej stronie uskoku, zwanego «Chedrang fault» — zwiększyło się nachylenie stoków górskich, a w miejscu, gdzie ten uskok przecina bieg rzeki, powstał wodospad, na 3 m wysoki.

W okolicach najbardziej, dotkniętych przez katastrofę, zarządzono ponowne zmierzenie położenia niektórych punktów. Dokładne pomiary wykazały w położeniu sąsiednich punktów zmiany, dochodzące do 4 m w poziomym, a do 8 m w pionowym kierunku.

V.

Jednym z objawów wewnętrznego ciepła ziemi jest tworzenie się nierówności na jej powierzchni.

Ziemia, jak wiadomo, doznaje ciągłej utraty ciepła, a zatem musi zmniejszać swą objętość. Gdy wnętrze ziemi kurczy się, musi i jej skorupa stosować się do zmniejszonej objętości, a dokonywa tego zapomocą dwóch ruchów, stycznego i dośrodkowego względem kuli ziemskiej.

Pierwszy z nich można sobie doskonale wyobrazić na przykładzie owocu, który wysycha na powietrzu. Jego łupina przedstawia wtedy cały szereg zmarszczek, podłużnych wypukłości i leżących między niemi zagłębień. Zupełnie tak samo rzecz ma się i z ziemią, której jądro zmniejsza się, a skorupa pod wpływem bocznego ciśnienia wypiętrza się w wysokie pasma gór.

Heim obliczył, że wskutek wypiętrzenia Alp i gór Jura obwód ziemi skrócił się o 125 km. Gdy dodamy do tego inne góry, które leżą w południku Alp środkowych (Atlas, Apeniny i t. d.), to otrzymamy zmniejszenie się promienia ziemskiego o 57 km.

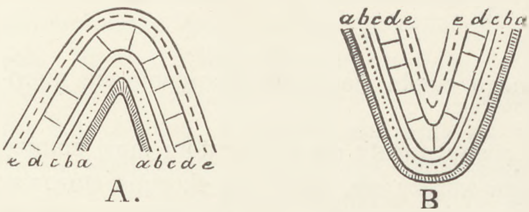
Drugi rodzaj ruchu skorupy ziemskiej objawia się w ten sposób, że wzdłuż pęknięć, które sięgają daleko w głąb ziemi, rozległe obszary zapadają się o tysiące metrów.

Wszelkie ruchy (dyzlokacye) skorupy ziemskiej, wynikające z jej kurczenia się, można sprowadzić do dwóch zasadniczych, które powyżej określiliśmy. Rozumie się, że w naturze stosunki nie przedstawiają się tak prosto, ale zachodzą różnorodne powikłania. Tak np. przy bardzo silnem fałdowaniu się powierzchni ziemi, fałdy pękają, a wzdłuż tych pęknięć następuje przesunięcie warstw, innym razem znowu mogą partye pofałdowane i wypiętrzone zapadać się wzdłuż uskoków i t. p. Nie możemy szczegółowo rozpatrywać wszystkich zawiłych przykładów wypiętrzania skorupy ziemskiej, ale przedstawimy tu kilka najbardziej prostych i zasadniczych wypadków.

Przy fałdowaniu skorupa ziemska układa się nakształt fali w szereg kolejno po sobie następujących wypukłości i wklęsłości. Pierwsze otrzymały na-

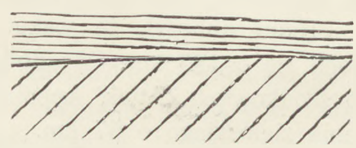
zwę siodeł (fałd, antyklina), a ich cechą jest, że w środku znajdują się te warstwy, które leżały w pierwotnem, poziomem położeniu najgłębiej, a więc najstarsze. Zagłębienia natomiast tworzą żłoby (łęk, synklina), gdzie porządek warstw jest odwrotny, niż w poprzednim wypadku. Tu od środka ku stronie zewnętrznej występują warstwy coraz starsze. Na załączonym rysunku warstwa *a* jest najstarszą, po niej następują coraz młodsze: *b*, *c*, *d*, *e*. Pofałdowanie warstw bywa nieraz tak silnem, iż nawet mały kawałek skały okazuje pofałdowanie warstewek.

Pofałdowanie wskutek ciśnienia można często widzieć na pokładach gipsu, które są pogięte, mimo, że pod i nad nimi znajdują się warstwy poziomo ułożone. W tym wypadku przyczyną pofałdowania nie były siły górotwórcze. Pokład bowiem pierwotnie składał się z anhidrytu, który później przeszedł w gips. Oba minerały są siarczanem wapniowym, ale anhidryt jest bezwodnym, a gips przybiera wodę (1/4 swego ciężaru). Zatem przy przemianie anhidrytu w gips zwiększa się znacznie objętość pokładu, a że nie może się rozszerzać w żadnym kierunku, musi uledz pogięciu i w ten sposób powstaje odmiana gipsu, zwana «wężowcem».

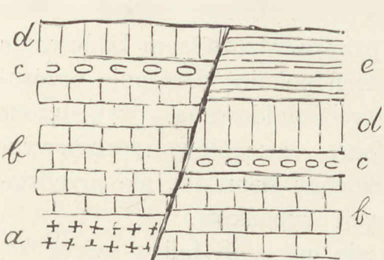


Siodło *A* i łęk *B*.

Z czasem góry ulegają obniżeniu i zarównaniu pod wpływem czynników niszczących, które później poznamy. Na warstwach pofałdowanych osadzają się potem poziome i tak powstaje uławicenie niezgodne (dyskordancya). Z tego można względnie oznaczyć czas, w którym odbyło się wypiętrzenie pokładów. Musiało nastąpić po utworzeniu się najmłodszej z wypiętrzonych warstw, a przed osadzeniem się najstarszej z tych, które nie zostały wyruszone z pierwotnego położenia.


Niezgodne uławicenie.

Dyslokacye drugiego rodzaju, uskoki, polegają na tem, że wzdłuż pęknięć jedna część warstw zapada się wgłąb, podczas gdy sąsiednia nie zmienia swego położenia. Wskutek tego widzimy obok siebie warstwy różne i trzeba się posunąć o kilkaset lub kilka tysięcy m w dół, aby odnaleźć dalszy ciąg przerwanego uskokiem pokładu.



Uskok.

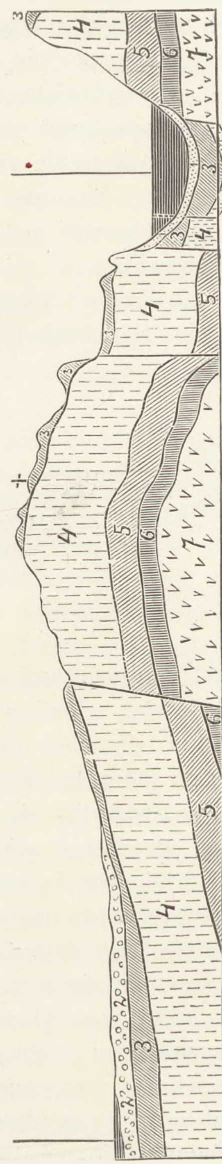
Jeżeli jakaś partya skorupy ziemskiej jest otoczona dokoła uskokami, wzdłuż których zapadło się jej otoczenie, mamy wtedy ster-

cący «horst». A gdy przeciwnie zapadnie się tylko wązki pas między partyami, które nie uległy temu ruchowi, powstaje rów tektoniczny. Ładnym przykładem jest kotlina Morza Martwego lub dolina górnego Renu, który płynie rowem tektonicznym między dwoma horstami: Czarnym Lasem (Schwarzwald) i Wogezami.

Gdy uskoki rozchodzą się promienisto z jednego punktu, albo też są ułożone współśrodkowo, wtedy tworzą się zapadnięcia w kształcie kotlin.

Nie wszędzie uskok przerywa ciągłość warstwy, która może uledz rozciągnięciu i wygięciu wzdłuż płaszczyzny uskoku i w ten sposób utworzyć «fleksurę» (por. rys. na str. 74).

Zapadanie się skorupy ziemskiej uzmysławia następujący przykład: Wyobraźmy sobie staw, w którego dno powbijano pale tak, aby ich końce znajdowały się pod zwierciadłem wody. Gdy staw zamarznie, a pewną część wody upuścimy, wtedy skorupa lodowa musi zastosować się do niższego poziomu wody i zapadać. Na palach zatrzymają się tafle lodu w niezmienionem położeniu, tworząc horsty. Dokoła każdego pala warstwa lodu urwie się wzdłuż pęknięcia (uskoku), albo też miejscami przegnie się tylko ku dołowi jako fleksura. Te zaś części, które się obniżyły pomiędzy palami, dadzą obraz zapadania się skorupy ziemskiej.



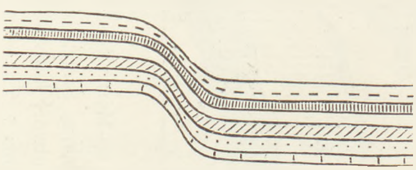
Przekrój południowej Palestyny od Morza Śródziemnego do Morza Martwego. (Według M. Blanckenhorn'a).
1) osady na dnie Morza Martwego; 2) najmłodsze osady Morza Śródziemnego; 3) senońskie margle; 4) cenomańskie wapienie i margle; 5) cenomański piaskowiec; 6) utwory karbońskiego lub permskiego wieku; 7) skały krystaliczne.

Teorya Suessa, przypisująca siły górotwórcze (orogeniczne) kurczeniu się ziemi wskutek ciągłej utraty ciepła, jakkolwiek uznawana przez znaczną część geologów, przecież nie jest powszechnie przyjętą. Z innych poglądów zasługują jeszcze następujące na uwagę.

Według Dany i Reade'go (hipoteza termiczna) przyczyny ruchów skorupy ziemskiej należy szukać w zagłębieniach morskich, zwanych geosynklinami, które istniały w miejscu dzisiejszych łańcuchów górskich. Woda na dnie morza ma temperaturę blizką 0^0, ale w miarę stopniowego nagromadzania się osadów w tych morzach, musiały geoizotermy wznosić się coraz wyżej, a wskutek tego tworzące się na dnie osady doznawały podwyższenia temperatury od dołu ku górze. Z ogrzaniem następowało powiększenie objętości, a że pojemność takiej geosynklinali nie zwiększała się, więc osady wskutek zwiększenia się objętości wypiętrzały się zwolna i układały w fałdy.

Reyer uzupełnił hipotezę Dany, wprowadzając jako dalszą siłę górotwórczą — obok wypiętrzenia — ześlizgiwanie się warstw luźnych osadów po nachylonej podstawie.

Teorya «izostazyi» Duttona opiera się na niejednostajnem rozmieszczeniu mas w skorupie ziemskiej (lądy i zagłębienia oceaniczne). Ta niejednostajność jest zrównoważoną przez to, że według pomiarów siły ciężkości pod lądami znajdują się masy o mniejszej gęstości, a pod morzami o większej. Potwierdzają to pomiary temperatury: wgłąb lądów temperatura podnosi się, podczas gdy w głębiach morskich termometr wskazuje około 0^0. W głębokości np. 6000 mamy w oceanie temperaturę blizką punktu zerowego, a równocześnie pod kontynentami około $+200^0$ C. Z wzrostem temperatury zwiększa się objętość ciał, a zatem gęstość musi się zmniejszać.



Fleksura.

Ten stan równowagi jest przemijającym. Wody bezustannie unoszą z kontynentów do mórz znaczną ilość pokruszonych lub rozpuszczonych skał[29]). Wskutek tego wytworzyłby się nadmiar mas w oceanach, gdyby nie przywracało równowagi tworzenie się gór w kierunku od morza ku lądowi, wzdłuż wybrzeży. W myśl teoryi izostatycznej Duttona nadmiar mas powoduje zapadanie się, a przeciwnie ubytek wznoszenie się.

Z tych wszystkich najtrafniejszą jest teorya Suessa, tłumacząca powstawanie gór kurczeniem się ziemi. Ale godząc się z Suessem, nie należy odrzucać zupełnie zapatrywań Dany i Duttona, gdyż i te siły, którym ci dwaj geologowie przypisywali powstawanie wyniosłości na powierzchni ziemi, mogą wchodzić w grę przy wypiętrzaniu łańcuchów górskich.

Od chwili, gdy na powierzchni ziemi zaczęły się tworzyć skały osadowe, dwa razy działanie sił górotwórczych wystąpiło ze szczególną siłą i objęło ogromne przestrzenie skorupy ziemskiej. Pierwszy z dwu okresów spotęgowanego działania sił górotwórczych przypada na okres górno-karboński i początek permskiego. W Europie zostały wówczas wypiętrzone góry w południowej Anglii i Irlandyi, w znacznej częsi półwyspu Pirenejskiego, dalej góry we

Francyi i w Niemczech, położone na zachód i na północ od Alp, góry, otaczające dokoła Czechy, wyżyna Kielecko-Sandomierska i Ural. Drugi okres tworzenia się gór obejmuje młodszą część okresu trzeciorzędnego (neogen) i na ten to czas przypada powstanie najwyższych obecnie gór na ziemi (Himalaje, Kordyliery, Andy, Alpy i t. d.). Nie ulega wątpliwości, że i podczas innych okresów siły górotwórcze marszczyły powierzchnię ziemi, ale w porównaniu z wyżej wymienionymi okresami ich działanie było daleko słabszem i nie obejmowało tak znacznych przestrzeni, ale ograniczało się do małych tylko części skorupy ziemskiej.

Jak wszystkie inne zjawiska geologiczne, tak samo też i wydźwignięcie gór nie odbywało się nagle, ale stopniowo. Łańcuchy górskie nie są wynikiem jednego gwałtownego ruchu skorupy ziemskiej, ale bardzo wielu ruchów, nieraz poprzegradzanych długimi okresami zupełnego spoczynku i zastoju sił górotwórczych. Tak np. niektóre części Alp (A. Karnickie, Karawanki) zostały pofałdowane już z końcem okresu karbońskiego, podczas gdy główne wypiętrzenie Alp odbyło się w epoce neogeńskiej.

Nasuwa się pytanie, czy ruchy górotwórcze, które niegdyś marszczyły powierzchnię ziemi, objawiają się jeszcze w obecnej dobie. Przyrost temperatury w kopalniach, wybuchy wulkaniczne i źródła gorące świadczą, że ziemia posiada w swem wnętrzu jeszcze ogromny zapas ciepła. A dopóki ziemia w całości nie ostygnie, musi kurczyć się i marszczyć wskutek utraty ciepła. Że skorupa ziemska nie jest w spoczynku, tego najlepiej dowodzą tektoniczne trzęsienia ziemi. Nawiedzają one przeważnie te okolice, gdzie skorupa ziemska uległa silnym zaburzeniom, a to wskazuje, że budowa wyniosłości na powierzchni ziemi nie jest ostatecznie wykończoną.

Przypatrzmy się historyi największych zapadłości skorupy ziemskiej, jakiemi są oceany. Że lądy po największej części odgraniczone są od oceanów pęknięciami wzdłuż których rozległe obszary skorupy ziemskiej zapadły się wgłąb i zostały zalane przez morze — o tem najlepiej świadczy dzisiejsze rozmieszczenie czynnych wulkanów, które pojawiają się przeważnie w pobliżu wybrzeży morskich. Najstarszemi zagłębieniami skorupy ziemskiej są niektóre części Oceanu Spokojnego [30]), daleko później powstały Oceany: Indyjski i Atlantycki.

Uderzającem jest podobieństwo budowy geologicznej, jakie zachodzi między południową Afryką a półwyspem indyjskim. Tutaj istniał niegdyś rozległy ląd, nazwany przez geologów Gondwana. Wskutek jego zapadnięcia się z początkiem okresu jurajskiego powstało zagłębienie Oceanu Indyjskiego, z którego wyspa Madagaskar sterczy jako horst. Na innej drodze doszli zoologowie do takiego samego wyniku z porównania obszarów, na których rozmieszczone są rozmaite gatunki zwierząt. I oni przyjmują, że w miejscu dzisiejszego Oceanu Indyjskiego istniał kontynent, który nazwali : Lemuria.

Tak samo zoologia i paleontologia stwierdzają, że dawniej istniało połą-

czenie lądowe między Europą a Północną Ameryką. Pierwsi odkrywcy nie znaleźli tam koni i musieli je przywozić z Europy. Natomiast natrafiono na kopalne szczątki konia w wielkiej obfitości. To wskazuje, że istniało połączenie lądowe, po którem konie przywędrowały z Ameryki Północnej do Europy, podczas gdy wyginęły w swej pierwotnej ojczyźnie.

Z początkiem epoki eoceńskiej ssaki Północnej Ameryki i Europy okazują bardzo blizkie pokrewieństwo, które da się wytłómaczyć tylko przez istnienie jakiegoś lądu, jakby pomostu, łączącego oba kontynenty. W oligocenie zaczynają zaostrzać się różnice między fauną północno-amerykańską a europejską. Połączenie wprawdzie jeszcze istniało, ale komunikacya została utrudnioną. Bezpośrednie połączenie między obu lądami zupełnie ustało ku schyłkowi epoki mioceńskiej, a odtąd wędrówki zwierząt odbywały się przez północną Azyę.

Australia posiada zupełnie odrębny świat zwierzęcy. Znajdujemy tam takie formy, które gdzieindziej dawno wyginęły i dziś należą do kopalnych. Świadczy to, że Australia już podczas okresu kredowego była całkiem odosobnioną i odciętą od reszty kontynentów.

Utwory mezozoiczne tworzą szeroki pas na południe od gór europejskich i azyatyckich, a ich fauna aż do okresu trzeciorzędnego okazuje wielkie podobieństwo do utworów, które w tej samej szerokości geograficznej występują w Chile i na wyspach antyllskich. To też musiała wtedy istnieć odnoga Oceanu Spokojnego, która sięgała wpoprzek dawnego indo-afrykańskiego kontynentu, w miejscu dzisiejszych najwyższych łańcuchów górskich aż poza Alpy. To dawne morze, które się ciągnęło wzdłuż równoleżników, Suess nazwał «Tethyscher Ocean», a Neumayr «Centrales Mittelmeer». Na południe od tego morza, w miejscu dzisiejszego południowego Atlantyku, istniał jeszcze z nastaniem okresu trzeciorzędnego ląd, łączący południową Amerykę z Afryką, a nazwany przez Neumayra afrykańsko-brazylijskim.

Wielkie znaczenie dla mórz i lądów mają przesmyki, wązkie pasy lądu, które dzielą oceany, a łączą kontynenty. Przesmyk Suezki dochodzi do wysokości 16 m nad poziomem morza i odgranicza dwa oceany o zupełnie odmiennej faunie: Indyjski i Atlantycki. Z jednej strony wskutek utworzenia się rowu geologicznego, jakim jest Morze Czerwone, z drugiej zaś przez zapadanie się coraz dalszych części Morza Śródziemnego ku wschodowi, zbliżyły się do siebie dwa różne światy zwierzęce na odległość 160 km. I ta ostatnia zapora padła pod ręką człowieka, a obecnie Kanał Suezki ułatwia wzajemne mieszanie się odmiennych faun po obu stronach kanału.

Całkiem inną rolę odgrywa przesmyk Panama, którego najwieksze wzniesienie nad poziomem morza wynosi 102 m. Po obu stronach, tak w Morzu Karaibskiem, jak w Zatoce Panamskiej, można spostrzedz wielkie podobieństwo faun. To dowodzi, że stosunkowo niedawno jeszcze musiało tu istnieć połączenie między obu oceanami, Atlantyckim i Spokojnym. O tem samem świadczy

ogromna różnica, jaka zachodzi między zwierzętami lądowemi Ameryki Północnej a Południowej. Jest bardzo prawdopodobnem, że przesmyk Panama wynurzył się dopiero w niedawnej dobie geologicznej i utworzył przegrodę między morzami, a pomostem połączył dwa lądy.

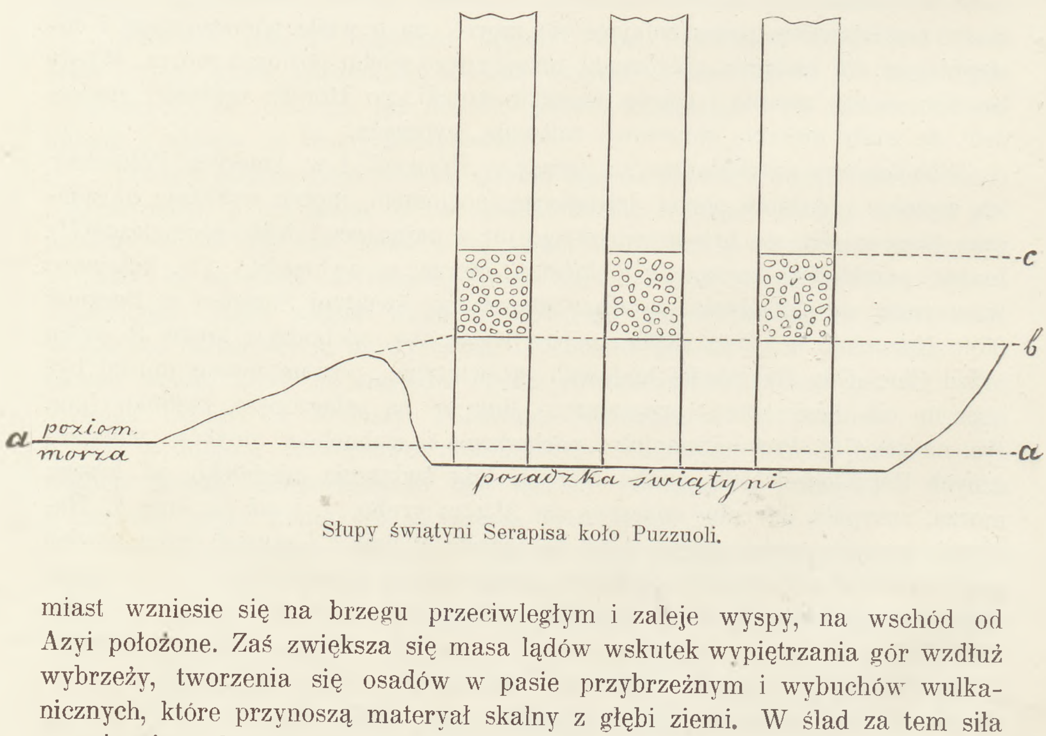
W wielu okolicach spotkać można na wybrzeżach morskich ślady wyższego lub niższego stanu poziomu morza w przeszłości. Daleko częściej trafiają się oznaki obniżenia poziomu morskiego jako terasy wycięte przez uderzanie fal lub otwory wydrążone przez mięczaki morskie w skalistem wybrzeżu, ławy muszel i t. p., które pojawiają się w znacznej wysokości nad obecnym poziomem morza — ale nie można z tego wnosić, że wody oceaniczne w przeważnej ilości wypadków opadają. Należy pamiętać o tem, że ślady, pozostawione przez cofające się morze, są o wiele widoczniejsze i dostępniejsze dla badacza, niż oznaki przeciwnego ruchu poziomu morza. Wtedy bowiem morze zatapia i usuwa wszelkie oznaki, po których możnaby stwierdzić, że wody morskie stopniowo zalewają wybrzeża.

Najlepszym przykładem są terasy w Norwegii i w Ameryce Północnej; ich wysokie położenie ponad dzisiejszym poziomem morza wskazuje na znaczne przesunięcie się brzegu morskiego już w najnowszej dobie geologicznej [31]). Innym przykładem zmian w położeniu morza u wybrzeży, i to kolejnego wznoszenia się i opadania, są słupy starożytnej świątyni Serapisa w Puzzuoli (koło Neapolu), o której najdawniejsza wzmianka pochodzi z końca II wieku przed Chr. Gdy Rzymianie budowali tę świątynię, poziom morza musiał być niższym od dzisiejszego, oznaczonego linią *a* na załączonym rysunku (por. rys. na str. 78). Później popioły, pochodzące z wybuchów stożków wulkanicznych Pól Flegrejskich, wśród których leży świątynia niedaleko od brzegu morza, zasypały jej ruiny warstwą na $3^1/_2$ m grubą, t. j. aż po linię *b*. Następnie poziom morza podniósł aż do wysokości linii *c* i musiał przez pewien czas utrzymać się w tem położeniu, skoro między wysokością *b* i *c* powierzchnia kamiennych słupów okazuje mnóstwo otworów wyżłobionych przez małże Lithodomus dactylus, żyjące wyłącznie w wodzie słonej. Podczas wybuchu Monte Nuovo, jednego ze stożków wulkanicznych w Polach Flegrejskich, w jesieni r. 1538, poziom morza u wybrzeży nagle opadł mniej więcej do dzisiejszego stanu, a więc do linii *a*. Ruiny świątyni, odgrzebane z pod pokładu popiołu wulkanicznego, przedstawiają dziś zajmujący widok: słupy kamienne są do wysokości $3^1/_2$ m ponad dawną posadzką całkiem gładkimi, a wyżej następuje szeroki pas otworów, wydrążonych przez małże morskie, t. zw. skałotocze.

Zjawisko, że w niektórych okolicach znajdują się wysoko ponad dzisiejszym poziomem morza terasy, wycięte niegdyś przez fale morskie, dawniej tłumaczono podnoszeniem się lądu. Zupełnie odmienne stanowisko zajął w tej

kwestyi Suess. Jego zdaniem skorupa ziemska może się fałdować lub zapadać, ale nigdy podnosić; nie ląd, ale morze przesuwa się, bądź wznosząc się (dodatnie, pozytywne przesunięcie linii wybrzeżnej), bądź opadając (ujemne, negatywne) [32]).

Przyczynę tych przesunięć linii wybrzeżnej Suess widzi przedewszystkiem w tem, że poziom morza w pobliżu lądów ulega wzniesieniu na znaczną wysokość wskutek przyciągania, jakie wywierają masy kontynentalne na wodę [33]). Przyciąganie wód oceanicznych przez kontynenty nie jest stałem, bo masa lądów ciągle się zmienia. I tak doznaje ubytku wskutek unoszenia roztartych skał przez rzeki, odpływające do morza. Gdy kiedyś Andy pod wpływem czynników atmosferycznych zostaną obniżone, to poziom Oceanu Spokojnego opadnie o kilkaset metrów przy wybrzeżu południowo-amerykańskiem, a nato-



Słupy świątyni Serapisa koło Puzzuoli.

miast wzniesie się na brzegu przeciwległym i zaleje wyspy, na wschód od Azyi położone. Zaś zwiększa się masa lądów wskutek wypiętrzania gór wzdłuż wybrzeży, tworzenia się osadów w pasie przybrzeżnym i wybuchów wulkanicznych, które przynoszą materyał skalny z głębi ziemi. W ślad za tem siła przyciągająca kontynentów ulega zmianie, a równocześnie przesuwa się linia wybrzeżna.

Obok tych miejscowych, Suess przyjmuje jeszcze ogólne (t. zw. «eustatyczne») ruchy morza. Jego poziom doznaje obniżenia wskutek zapadania się części lądów, a podnosi się pod wpływem stopniowego wypełniania zagłębień morskich przez osady.

Wreszcie wody mórz według Suessa ulegają przesuwaniu i nagromadzają się z nieznanej nam przyczyny raz u biegunów, to znowu w okolicach równika.

Poglądy Suessa na przyczynę ruchów morza natrafiły na poważnych przeciwników, którzy przyłączają się do zdania dawniejszych geologów, jak Bucha i Lyella, że terasy nadbrzeżne w Norwegii i Ameryce Północnej świadczą przecież o podniesieniu się lądu w ostatniej dobie geologicznej. Przemawia za tem fakt, że gdy posuwamy się np. w fjordzie norwegskim lub w dolinie jakiejś rzeki od brzegu morza w głąb lądu, to owe terasy wznoszą się i znajdują się na coraz znaczniejszej wysokości nad poziomem morza. Z rozmieszczenia teraz okazuje się, że ów ruch wgłąb lądu stawał się coraz silniejszym i wskutek tego lekko zwypukliła się powierzchnia Skandynawii. Trafną wydaje się przyczyna tego ruchu, którą podał Drygalski. Gdy lody z końcem epoki dyluwialnej stopniały i pozostawiły stosunkowo nieznaczne resztki w okolicach podbiegunowych, temperatura powierzchni lądu, uwolnionego od pokrywy lodowej, podniosła się z punktu zerowego do średniej 4—10°. Wskutek tego powierzchnia owych okolic zwiększyła się i stała się lekko wypukłą. Wznoszenie się lądu spotęgowała jeszcze i ta okoliczność, że równocześnie z ustępowaniem lodów u schyłku epoki dyluwialnej nie tylko temperatura musiała się podnieść, ale zarazem ląd został uwolniony od ogromnego ciężaru przygniatającej go skorupy lodowej, na kilka tysięcy m grubej.

Mówiliśmy już, jak wielki jest wpływ przyciągania przez lądy na stan poziomu morza w pobliżu wybrzeży. Gdy ląd był przywalony ogromną masą lodu, musiał silniej przyciągać otaczające morze, a zatem i poziom morza musiał wznosić się do większej wysokości. Z ustąpieniem zaś lodów przyciąganie przez ląd zmniejszyło się i poziom opadał, wskutek czego zaostrzyła się różnica poziomu, wynikająca z równoczesnego wznoszenia się lądu.

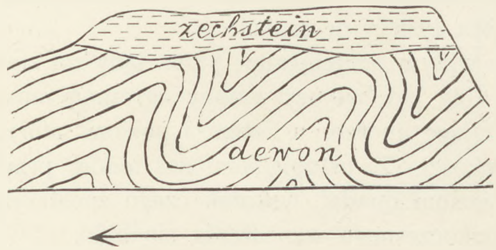
Na podstawie ścisłych matematycznych obliczeń R. Kövesligethy (1902) wykazał, że wznoszenie się lądu i opadanie poziomu morza wskutek ustąpienia skorupy lodowej, na 2000 m grubej, mogły spowodować przesunięcie się linii wybrzeżnej o 272 m u brzegów Skandynawii, a o 476 m w głębi fjordów. W rzeczywistości wzniesienie teras nad poziomem morza w Skandynawii, Finlandyi i na półwyspie Labrador jest mniejsze od wyników powyższego rachunku. Nie potrzebujemy więc nawet przyjmować zbyt wielkiej grubości pokrywy lodowej w epoce dyluwialnej, aby wyjaśnić przesunięcie linii wybrzeżnej, jakie zaszły w ciągu najnowszej doby geologicznej w najdalej ku północy wysuniętych krajach Europy i Ameryki.

Począwszy od najstarszych warstw osadowych, znajdujemy w budowie geologicznej skorupy ziemskiej dowody, że w ciągu rozmaitych epok zachodziły znaczne zmiany w rozkładzie lądów i mórz. Kolejno następują po sobie okresy, w czasie których morze zalewało lądy (transgresye), lub też cofało się i ograniczało tylko do zagłębień o znaczniejszej głębokości (regresye).

Zobaczmy, jak wygląda w przekroju góra Bohlen koło Saalfeld (Tu-

ryngia). Warstwy łupków dewońskich uległy wypiętrzeniu z końcem okresu karbońskiego. Podczas dolnego permu, kiedy pod wpływem czynników atmosferycznych ze zwietrzenia skał krystalicznych tworzyły się pokłady czerwonego piaskowca, podobnego do dzisiejszego laterytu krajów zwrotnikowych — owe fałdy doznawały znacznego obniżenia. Brak utworów dolnopermskich w tym przekroju wskazuje na przerwę w tworzeniu się osadów morskich, dowodzi więc, że wówczas był tu ląd. Później morze górno-permskie (Zechstein) pokryło zarównane fałdy i osadziło na nich niezgodnie poziome ławice wapienia.

Na powyższym przekroju można doskonale śledzić przebieg wyraźnej linii, względnie płaszczyzny, zwanej transgresyjną, która oddziela starsze utwory wypiętrzone od późniejszych poziomych [34]). Znamy rozmaite sposoby powstawania tego rodzaju płaszczyzny. Morze, które zwolna zalewało ląd i pokrywało go nowymi osadami, w jednych wypadkach musiało samo torować sobie drogę i pracować nad wykształceniem płaszczyzny transgresyjnej, w innych znowu wypadkach zastało ją już gotową, przygotowaną przez te same czynniki atmosferyczne, które i dziś zwolna obniżają powierzchnię lądów.



Rzeka Saale

Przekrój góry Bohlen powyżej Saalfeld w Turyngii.

U skalistych wybrzeży można widzieć, z jak wielką siłą fale uderzają o skały nadbrzeżne, krusząc je i wrzynając się coraz głębiej. Jeżeli poziom morza zwolna się podnosi, to ten proces niszczenia wybrzeży, nazwany przez Richthofena abrazyą, posuwa się coraz dalej wgłąb lądu i z czasem może wytworzyć rozległą płaszczyznę (abrazyjną), na której morze układa warstwy osadów. Pięknym przykładem płaszczyzny abrazyjnej jest okolica Veszprém'u na Węgrzech (por. rys. na str. 82). Między Lasem Bakońskim a Jeziorem Błotnem (Balaton) ciągnie się obszerna płaszczyzna, nieznacznie pochylona ku jezioru. Nachylone warstwy wapieni i margli tryasowych, z których zbudowaną jest okolica Veszprém'u, zostały ścięte przez morze wieku neogeńskiego. Utwory te są miejscami pokryte żwirem, osadzonym przez morze jako pozostałość po zniszczonych skałach wapienia tryasowego. Na powierzchni otoczonych i zaokrąglonych okruchów wapienia tryasowego siedzą wapienne szkielety korali, które żyły w morzu neogeńskiem, gdzieindziej znowu widać w tych okruchach głębokie otwory, wydrążone niegdyś przez małże. Tu i ówdzie płaszczyzna abrazyjna została zasypana pokładem gliny (loess), nawianej przez wiatry w epoce dyluwialnej. Jedynem urozmaiceniem jednostajnego krajobrazu płaszczyzny abrazyjnej jest

dolina rzeczki Séd, głęboko wcięta, ujęta w strome, prawie pionowo opadające ściany dolomitów tryasowych, na których leży miasto Veszprém.

W niektórych okolicach (np. we Francyi: Ardenny, Plateau Central, Wogezy), gdzie na pofałdowanych warstwach leżą młodsze poziomo, znaleziono na płaszczyźnie, dzielącej owe utwory, osady wód słodkich. Tutaj powstanie płaszczyzny transgresyjnej jest wynikiem niszczącego działania czynników atmosferycznych, przedewszystkiem wody w czasie długich okresów kontynentalnych. Tak powstałą płaszczyznę transgresyjną określamy za przykładem W. M. Davisa wyrazem: «peneplena (peneplain)». Wreszcie może się utworzyć płaszczyzna transgresyjna także w obszarach pustynnych. W pustyniach skały bardzo szybko rozsypują się na żwir lub piasek, które wobec braku trwałych żył wody, usuwających okruchy zwietrzałych skał, nagromadzają się w coraz większej ilości. Z czasem powstają z nich grube ławice zlepieńców lub piaskowców, nadzwyczaj ubogich w skamieniałe resztki organizmów, a leżących niezgodnie na starszych skałach.

Gdy mamy przed sobą płaszczyznę transgresyjną, to nie tak łatwo rozstrzygnąć, w jaki sposób ona powstała, czy jest wynikiem zniszczenia dawnego lądu przez czynniki atmosferyczne, czy też stworzyło ją abrazyjne działanie zwolna zalewającego morza. Może się zdarzyć, że osady na płaszczyźnie transgresyjnej świadczą jedynie o abrazyi przez fale morskie. Jednakowoż nie należy zapominać, że przed zalewem morza mogły czynniki atmosferyczne dzielnie pracować nad przygotowaniem płaszczyzny transgresyjnej, a późniejszy zalew morza tylko dokończył dzieła, ale zarazem do takiego stopnia zatarł ślady poprzedniej działalności czynników atmosferycznych, że płaszczyzna transgresyjna przedstawia się jako wynik wyłącznie abrazyi przez fale morskie.

Nie wiele znamy krain, któreby posiadały tak urozmaiconą historyę geologiczną, jak wyżyna podolska. W budowie geologicznej tej części naszego kraju przechowały się wyraźnie ślady, że morze kilkakrotnie opuszczało wyżynę podolską, po długich przerwach znowu ją zalewało i niszczyło przez abrazyę dawniejsze osady, a w ich miejsce osadzało nowe. Na Podolu galicyjskiem jako najstarsze pokłady odsłaniają się utwory górnosylurskie i dolnodewońskie. Piątro górnosylurskie, składające się z warstw wapieni, poprzegradzanych utworami ilastymi, jest wybitnym osadem morskim. Wapienie głębszych poziomów zawierają wiele korali, w wyższych zaś partyach korale ustępują, a przeważają mięczaki i ramionopławy (brachiopoda). Natomiast piątro dolnodewońskie, a mianowicie iły z soczewkowatemi wkładkami piaskowca, odznaczające się zazwyczaj swoją czerwoną barwą i zawierające szczątki ryb, są osadem nie morza, ale jednego lub kilku wielkich jezior śródlądowych. Między utworami systemu sylurskiego i dewońskiego brak ścisłej granicy. Przejście od jednego do drugiego dokonywa się nieznacznie (warstwy przejściowe), a to świadczy, że podolska część górnosylurskiego

morza zwolna została odciętą od reszty morza i stopniowo zamieniła się w jedno lub więcej dolnodewońskich jezior śródlądowych. Potem morze jeszcze raz powróciło i osadziło na czerwonych dolnodewońskich iłach i piaskowcach średniodewońskie dolomity z koralami. Z tego utworu zachowała się tylko skąpa resztka w dolinie Złotej Lipy w okolicy Zawadówki. Niewątpliwie dolomity średniego dewonu musiały pierwotnie osadzić się na większej przestrzeni, jak o tem świadczy pojawianie się ich okruchów wśród wapieni jurajskich nad Dniestrem — ale abrazya podczas późniejszych zalewów morza zniszczyła dolnodewońskie dolomity z wyjątkiem małego płatu, który pojawia się nad Złotą Lipą. Po osadzeniu się dolomitów średniodewońskiego wieku morze na długi czas opuściło wyżynę podolską i nastąpiła wielka przerwa w tworzeniu się osadów. Dopiero z końcem okresu jurajskiego morze powróciło i osadziło wapienie, które swym wiekiem odpowiadają najmłodszej części systemu jurajskiego i tworzą rozległy płat nad Dniestrem i dolnym biegiem jego dopływów od Ujścia Zielonego aż poza Niezwiska. Ku końcowi okresu jurajskiego wyżyna podolska uległa działaniu sił górotwórczych i została wypiętrzona w bardzo łagodny fałd, a właściwie w tak płaskie sklepienie, że warstwy na pozór okazują pierwotne, poziome ułożenie i trzeba aż na większej przestrzeni rozpatrywać przebieg warstw, aby zauważyć ich słabe nachylenie. Po osadzeniu górnojurajskich wapieni morze znowu cofnęło się z wyżyny podolskiej, ale powróciło w epoce cenomańskiej. Abrazya morza cenomańskiego, wdzierającego się w wyżynę podolską, niszczyła starsze skały i zarównała wypiętrzenie, o którem wyżej była mowa. W najgłębszych partyach utworów cenomańskich spotykamy mnóstwo okruchów utworów starszych, jak np. czerwonego piaskowca dewońskiego, który dzięki swej zwięzłości oparł się zupełnemu rozkruszeniu przez fale morskie. Dalej ku wschodowi, już na rosyjskiem Podolu, wśród piaskowców cenomańskich znajdują się otoczone kule fosforytowe, które pierwotnie znajdowały się wśród utworów sylurskich, a po ich zniszczeniu przez abrazyę dostały się do cenomańskich. Wynikiem zniszczenia wyższych partyi utworów paleozoicznych i zrównania dawniejszego wypiętrzenia przez abrazyę cenomańską jest, że — posuwając się wyżyną podolską od zachodu ku wschodowi — napotyka się coraz starsze utwory jako najgłębszą podstawę wyżyny. Dolnodewońskie utwory zachowały się po abrazyi cenomańskiej tylko w zachodniej części Podola. W dorzeczu Seretu dewon znika, a w głębi jarów zaczynają się odsłaniać najwyższe warstwy syluru. Dalej ku wschodowi odsłaniają się coraz starsze piątra podolskiego syluru, a wreszcie poza granicą Galicyi wynurza się z pod nich granitowa płyta Ukrainy. W czasie wkraczania morza cenomańskiego powierzchnia wyżyny podolskiej obniżyła się mniej więcej ku zachodowi, a w tym samym kierunku była nachyloną także płaszczyzna abrazyjna, która powstała w czasie zalewu wyżyny przez morze cenomańskie. To też górnokredowe morze było w zachodniej części wyżyny głębokiem, a ku wschodowi stawało się coraz płytszem. Zgodnie z tem górno-



Veszprém i dolina rzeki Séd. Płaszczyzna abrazyjna ścina pofałdowane utwory tryasowe. (Według fotogr. zdjęcia prof. D. Laczkó).

kredowe utwory okazują w zachodniej części wyżyny właściwości osadów głębszego morza, a we wschodniej przybierają charakter przybrzeżnych. Z końcem okresu kredowego morze ustąpiło z wyżyny podolskiej, która odtąd aż do epoki mioceńskiej była lądem. Przez cały ten czas czynniki atmosferyczne działały na powierzchnię Podola i zniszczyły nie małą część górnokredowych osadów, pokrywających utwory paleozoiczne. W epoce środkowego miocenu wyżyna podolska jako ląd była widownią nagromadzania się osadów słodkowodnych. Na obszarze między Brzeżanami, Maryampolem, Buczaczem i Złotym Potokiem, a także na małej przestrzeni koło Tarnopola utwory dewońskie lub kredowe są pokryte przez iły i wapienie, które w czasie środkowego miocenu osadzały się w jeziorach lub bagnach i zawierają skorupy mięczaków, właściwych wodom słodkim. W kilku miejscach (np. w okolicy Złotego Potoka) pojawiają się obok słodkowodnych także morskie mięczaki, a to świadczy, że morze znowu zaczyna wdzierać się w wyżynę podolską. I rzeczywiście morze niebawem (z początkiem II piętra śródziemnomorskiego)[35]) zalało wyżynę podolską. Powierzchnia wyżyny była wówczas jeszcze ciągle pochyloną ku zachodowi, a morze, posuwając się zwolna coraz dalej ku wschodowi — przez abrazyę niszczyło utwory starsze, przedewszystkiem kredowe, o ile już przedtem nie padły ofiarą czynników atmosferycznych. Na znacznej przestrzeni galicyjskiego Podola utwory górnomioceńskie spoczywają bezpośrednio na paleozoicznych, gdyż abrazya mioceńskiego morza zupełnie usunęła utwory cenomańskie. W niektórych okolicach wśród utworów mioceńskich znajdują się obficie okruchy utworów cenomańskich, zniszczonych przez abrazyę fal morskich. Górnomioceńskie utwory są najmłodszym, ostatnim osadem morskim na Podolu. Z końcem epoki mioceńskiej morze zwolna ustępuje i odtąd wyżyna podolska jest nieprzerwanie lądem.

Historyę zmian, jakie zachodziły podczas okresów geologicznych w stosunku oceanów do kontynentów, streścił Mojsisovics w następujących słowach:

«W okresie kambryjskim, sylurskim i dewońskim głębokie morze pokrywało dzisiejsze kontynenty starego i nowego świata. Ale już w dewonie występują miejscami wyraźnie oznaki blizkich wybrzeży. Podczas okresu karbońskiego wybrzeża potężnych lądów znacznie się zbliżają, a mniej więcej równocześnie nagromadzają się największe i najcenniejsze zapasy węgla na obu półkulach. Poczem perm i tryas występują jako okresy wybitnie kontynentalne. Następnie jurajskie morze stopniowo zalewa partye tryasowego kontynentu; zalew trwa dalej podczas okresu kredowego i ku jego końcowi dochodzi do największych rozmiarów. Znowu morze cofa się z nastaniem okresu trzeciorzędnego, a rozwija się teraźniejszy okres kontynentalny».

VI.

Powierzchnia ziemi, jako dno oceanu powietrznego, pozostaje pod wpływem czynników atmosferycznych. Ich praca dąży bezustannie do pokruszenia i zniszczenia skał, z których zbudowane są lądy, a w tym względzie pierwszorzędna rola przypada zmianom temperatury.

Fizyka uczy, jak zachowują się ciała pod działaniem zmian temperatury. Ogrzewane zwiększają swą objętość, a naodwrót kurczą się przy oziębianiu. Z dokładnych pomiarów przekonano się, że rozmaite ciała niejednakowo zachowują się przy zmianie temperatury i rozszerzają się, względnie kurczą, w mniejszym lub większym stopniu.

Na niejednakowe zachowanie się różnych ciał pod wpływem zmian temperatury wpływają jeszcze inne okoliczności. Wiadomo, w jak wysokim stopniu pochłanianie ciepła jest zależnem od barwy ciał; przy jednakowej zmianie temperatury przedmiot o barwie ciemnej rozgrzewa się daleko silniej od jasno zabarwionego. Podobne różnice, jak zmiana objętości, wykazuje także ciepło właściwe, t. j. ta ilość ciepła, jakiej potrzeba dostarczyć jednostce masy danego ciała, aby podnieść jego temperaturę o 1^0 C.

Do powyższych praw fizycznych stosują się wszystkie skały. Pod wpływem kolejnego ogrzania i oziębiania rozszerzają się naprzemian i kurczą, zaczem ich powierzchnia obnażona zaczyna pękać. W najdrobniejsze, ledwie dostrzegalne szczeliny wsiąka woda, a w chwili zamarzania zwiększa swą objętość i rozsadza najtwardsze skały. Tak powierzchnia skały rozluźnia się coraz bardziej i zamienia w stosy odłamów, które znamy jako t. zw. «morza kamieni» na wysokich górach («piargi» tatrzańskie).

Skały jednorodne, zbudowane w całości z jednego i tegosamego minerału, jak np. wapienie, łuszczą się na powierzchni i dostarczają kańczastych odłamów. Odmiennie zachowują się skały różnorodne, które pojawiają się na powierzchni ziemi w przeważającej ilości, a które składają się z mniejszych lub większych ziarn różnych minerałów. Tu nie każdy minerał zmienia jedna-

kowo swą objętość przy zmianie temperatury; składnik ciemniej zabarwiony daleko więcej pochłania ciepła, niż jasny. Stąd też pochodzi, że każde ziarno inaczej zachowuje się przy ogrzewaniu lub oziębianiu. Skała różnorodna rozsypuje się na poszczególne składniki mineralne i tworzy gruz.

Zjawisko niszczenia skał pod wpływem zmian temperatury nazywamy wietrzeniem mechanicznem lub fizycznem. Jego właściwością jest, że skała rozluźnia się i rozsypuje, ale sama substancya mineralna nie ulega przemianom chemicznym. Nagłe zmiany temperatury, suchy klimat i brak zwięzłej szaty roślinnej sprawiają, że klasyczną widownią czysto mechanicznego wietrzenia skał są przedewszystkiem pustynie. W naszym klimacie obfitość wody i roślinność zazwyczaj zacierają czysto mechaniczne wietrzenie skał, które tutaj ogranicza się głównie do wysokich, nagich szczytów górskich.

Zwietrzały materyał skalny albo nagromadza się na temsamem miejscu, gdzie powstał (in situ), lub też ulega działaniu sił, które go przenoszą nawet na bardzo wielką odległość. Produkty zwietrzenia pokrywają skały i zasłaniają budowę geologiczną skorupy ziemskiej. Możemy się jej przyjrzeć tylko tam, gdzie jakaś siła transportowa bez przerwy usuwa zwietrzały materyał, np. w dolinach rzek. Pierwszorzędną taką siłą transportową jest woda, już to jako potok lub rzeka, już też jako lód na wysokich górach lub w krainach podbiegunowych. Gdzie natomiast suchy klimat ogranicza działanie wody, tam jako siła przenosząca główną rolę odgrywa wiatr. W klimacie wilgotnym bujna roślinność chroni powierzchnię ziemi przed działaniem prądów powietrza, ale za to w całej pełni występuje ich siła w pustyniach. To też zanim tam się udamy, aby bliżej przyjrzeć się czysto mechanicznemu wietrzeniu skał, musimy zapoznać się z wiatrem, jako czynnikiem geologicznym.

Powietrze nawet najbardziej przejrzyste nie jest zupełnie czystem, zawsze bowiem zawiera pewne zanieczyszczenia, które potęgują się w pobliżu większych miast. Gdziekolwiek na powierzchni ziemi wiatr natrafi na drobne cząstki, które może porwać, wzbija je w górę i przenosi na setki lub tysiące km. Sile wiatru nie oprze się żaden pył, pokrywający ziemię. Podobnemu transportowi ulega pył węglowy, unoszący się z kominów, lub cząstki organiczne, jak pył kwiatów, drobne nasiona i ledwie dostrzegalne organizmy [36]). Nie brak też w atmosferze cząstek żelaza pochodzenia kosmicznego.

W Chinach ogromne obszary pokrywa t. zw. loess, drobnoziarnista glina barwy żółtej. Tam nawet podczas zupełnej ciszy powietrze traci przejrzystość i cały krajobraz nabiera żółtawego odcienia. Sprawozdania podróżników stwierdzają, że w niektórych prowincyach czyste powietrze należy do rzadkości; często zdarzały się dnie tak ponure, iż w południe nie mogli się obejść bez światła, zwłaszcza w czasie wiatru («żółte» i «czarne» wiatry u Chińczyków).

Bagdad i jego okolicę bardzo często nawiedza wiatr, naładowany



Wietrzenie skał na nagich szczytach alpejskich. Umbal w grupie Venediger.
(Według zdjęcia fotograficznego zakładu Würthle'go w Salcburgu).

pyłem. Niebo przybiera barwę czerwoną, słońce staje się podobnem do księżyca, a przenikliwy pył wdziera się do mieszkań. Podróżni, zaskoczeni przez burzę w otwartem polu, muszą godzinami leżeć twarzą do ziemi.

Gdy wiatr ustanie, pył, dotąd unoszony, opada zwolna i pokrywa ziemię. W zimie po ustaniu zamieci wszędzie można widzieć pył, który pokrywa białą powierzchnię śniegu. W wspomnianych krainach Azyi po uciszeniu się burzy warstewka drobnego, bardzo urodzajnego pyłu osadza się na polach. W Mezopotamii ruiny starożytnych miast są całkiem pogrzebane w nawianym pyle. Richthofen wykazał, że w taki sam sposób tworzyły się w ubiegłej dobie geologicznej potężne zwały gliny loessowej, którą później poznamy.

Dawniej, gdy geologia jako nauka jeszcze nie istniała, pył, spadający z deszczem i pokrywający ziemię, stawał się powodem wielkiego przerażenia. Żółty pyłek kwiatów uchodził za «deszcz siarczany» a nazwę «krwawego deszczu» nadano czerwonemu pyłowi, pochodzącemu najprawdopodobniej z gliny silnie żelazistej.

Na Oceanie Atlantyckim, na zachód od Afryki [37]), znajduje się obszar pasatów, które przynoszą pył z Sahary i sąsiednich obszarów podzwrotnikowych, pokrytych czerwoną gliną (lateryt). Tu bardzo często, a zwłaszcza od grudnia do marca, czerwony pył całymi dniami zamąca powietrze i jak mgła utrudnia żeglugę. Stąd w starożytności nazywano tę część Atlantyku «Ponurem Morzem (Mare Tenebrosum»).

Również w Afryce leży źródło pyłów, które niejednokrotnie jako deszcz krwawy spadały nad Morzem Śródziemnem i w południowej Europie. W marcu 1901 mieliśmy w Europie taki deszcz pyłu, przyniesionego przez prądy atmosferyczne z głębi afrykańskiego kontynentu. Z wielu znanych już wypadków ten zasługuje na szczególną uwagę, a to ze względu na wyjątkową rozległość obszaru, w obrębie którego zauważono spadanie krwawego deszczu. 10 marca rano zniżka barometryczna (poniżej 750 mm) zajęła wybrzeża Tunisu. Stąd zaczęła się posuwać ku północy, przekroczyła Alpy w ciągu następującej nocy, a 11 marca wieczorem osiągnęła wybrzeża Bałtyku. Niezwykle długiej przestrzeni, jaką zniżka barometryczna przebyła od Tunisu aż po Bałtyk (około 2,300 km) z średnią chyżością 20 m na sekundę, kraje północno-niemieckie zawdzięczały pojawienie się pyłu, pochodzącego z dalekiego południa, co dla tej szerokości geograficznej jest nadzwyczaj rzadkiem zjawiskiem.

W całej okazałości wystąpił deszcz pyłu najbliżej swego źródła, w Tunisie, Sycylii i południowych Włoszech. W Palermo 10 marca zrana chmury z czerwonym odcieniem zasłoniły niebo, a w południe przy gwałtownym wietrze spadł deszcz, którego krople wyglądały jak krew. Chmury, naładowane czerwonym pyłem i pędzone przez silny wiatr, przeciągnęły tegoż dnia ponad południowemi Włochami. W Neapolu wieczorem, wnet po zapadnięciu zmroku (około 5 godz. 45 min.) niebo poczęło się rozjaśniać i stało się zrazu jasnożółtem, a potem ognisto-czerwonem. Miasto było oblane jaskrawem światłem.

Pył spadający pokrywał całe miasto, osiadał na odzieży przechodniów i zasypywał oczy. Całe zjawisko trwało około 3 godzin. Koło Neapolu na 1 m^2 zebrano 11 g pyłu. W nocy z 10 na 11 spadł pył w Rzymie. Około północy w Fiume i Abbazii padał deszcz przy silnym wietrze południowo-zachodnim i pozostawił warstwę pyłu, która pokrywała dachy, ulice, ogrody i okręty. Tejże samej nocy w Alpach i w górach Jura spadł śnieg, a miejscami grad



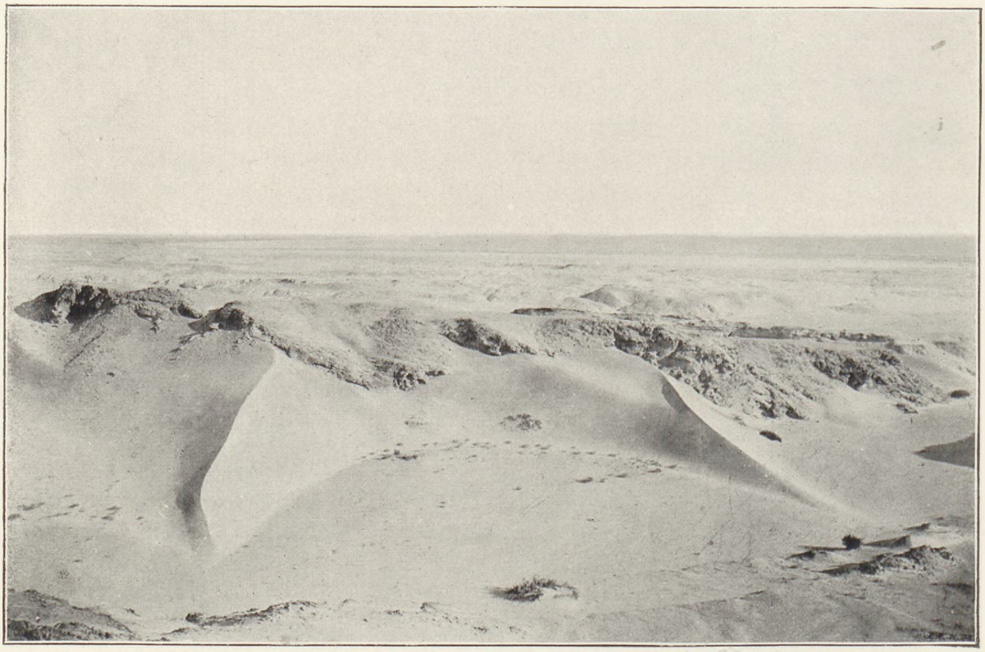
Obszar, na którym spadł deszcz pyłu w Europie 9—12 marca 1901 r. (Według Hellmanna i Meinardusa).

B, Berlin; Bp, Budapeszt; F, Florencya; G, Gdańsk; H, Hamburg; K, Kopenhaga; M, Monachium; N, Neapol; P, Palermo; T, Tunis; Tr, Tryest; W, Wiedeń; Wr, Warszawa.

żółto-brunatnej barwy. 11-go marca rano padał deszcz z pyłem zmieszany w Raab, we Lwowie, w Berlinie i Poczdamie, a po południu tosamo zjawisko zauważono w Krakowie. Tegoż dnia pył nawiedził Monachium i Poznań. W nocy z 11 na 12 w Hamburgu i okolicy spadł rzęsisty deszcz przy silnym wietrze i pozostawił osad drobnego, żółtawego pyłu. W Szlezwiku, Holsztynie, Danii i południowej Szwecyi wędrówka pyłu ku północy osiągnęła

swój kres. Wreszcie w nocy z 12 na 13 marca padał deszcz z pyłem w gubernii permskiej w Rosyi.

Podczas wędrówki z Afryki przez Europę cząsteczki pyłu zostały posortowane. Najcięższe musiały opadać najprędzej, a więc na południu, Zgodnie z tem wypadły pomiary wielkości cząsteczek pyłu. W pyle, który spadł w Palermo, średnica cząsteczki pyłu wynosiła przeszło 0,10, koło Hamburga zaś zaledwie 0,004—009 mm. Stąd wynika, że w północnych Niemczech 1 g pyłu zawierał około 3,200 milionów cząsteczek! Z tych cyfr najlepiej widać, jak



Wydmy w pustyni afrykańskiej koło Szerm Szeich nad Morzem Czerwonem. (Według zdjęcia Natterera z Geograf. Instytutu Uniwersytetu we Wiedniu).

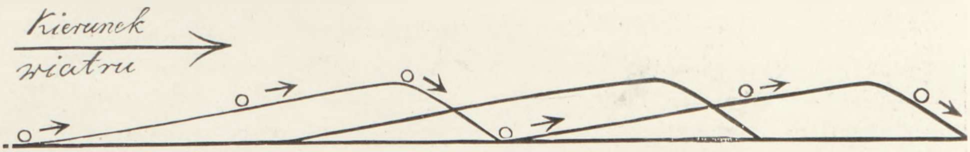
drobnym bywa pył, przenoszony i osadzany przez wiatry. Niemniej ciekawe jest obliczenie, ile pyłu spadło na całym obszarze owego deszczu w marcu 1901. Otóż możemy przyjąć, że w północnej Afryce spadło 150 milionów, a w Europie prawie 2 miliony tonn. Ale do tego trzeba dodać ogromną, nie dającą się nawet w przybliżeniu obliczyć masę pyłu, która spadła w Morze Śródziemne między Tunisem a Włochami.

Przy wybuchach wulkanów ogromne masy drobnego popiołu dostają się do atmosfery. Popiół z Wezuwiusza, zmieszany ze strumieniami wody, pogrzebał w r. 79 po Chr. miasta rzymskie Herkulanum i Pompei. Drobniejszy popiół został przez wiatr uniesiony daleko poza najbliższą okolicę Wezuwiusza,

aż na wybrzeża Afryki i do Syryi. Później zapomniano zupełnie o zasypanych miastach i dopiero z początkiem XVIII w. przy kopaniu studni natrafiono przypadkiem na teatr w Herkulanum. Wówczas dopiero rozpoczęto odkopywanie, które o niejeden skarb wzbogaciło historyę.

Po wybuchu wulkanu Temboro (Sumbava) w r. 1815 na obszarze przeszło $2^1/_2$ miliona km^2 zapanowała ciemność i spadł deszcz popiołu. Podobnież po wybuchu Krakatau w cieśninie Sundajskiej (26 sierpnia 1883) ponad całą kulą ziemską wiatr rozniósł popioły. Najdrobniejsze cząstki bardzo długo pozostały zawieszone w wyższych warstwach atmosfery i wywołały wspaniałe zjawiska świetlne, jak niezwykłe zabarwienie słońca oraz zorze poranne i wieczorne. Te objawy wystąpiły najwspanialej w latach 1883 i 1884, ale ślady ich przetrwały aż do lata 1886. Mamy w tem najlepszy dowód, jak długo najdrobniejszy materyał może się utrzymać w zawieszeniu w atmosferze.

Gdzie piaski pokrywają większy obszar, tam pod działaniem panujących wiatrów tworzą się nierówności, znane jako wydmy. Prąd wiatru porywa ziarna piasku, toczy je i podrzuca, dopóki nie natrafi na przeszkodę. Kamień lub kępa trawy, sterczące ponad równą powierzchnią, już wystarczają, aby



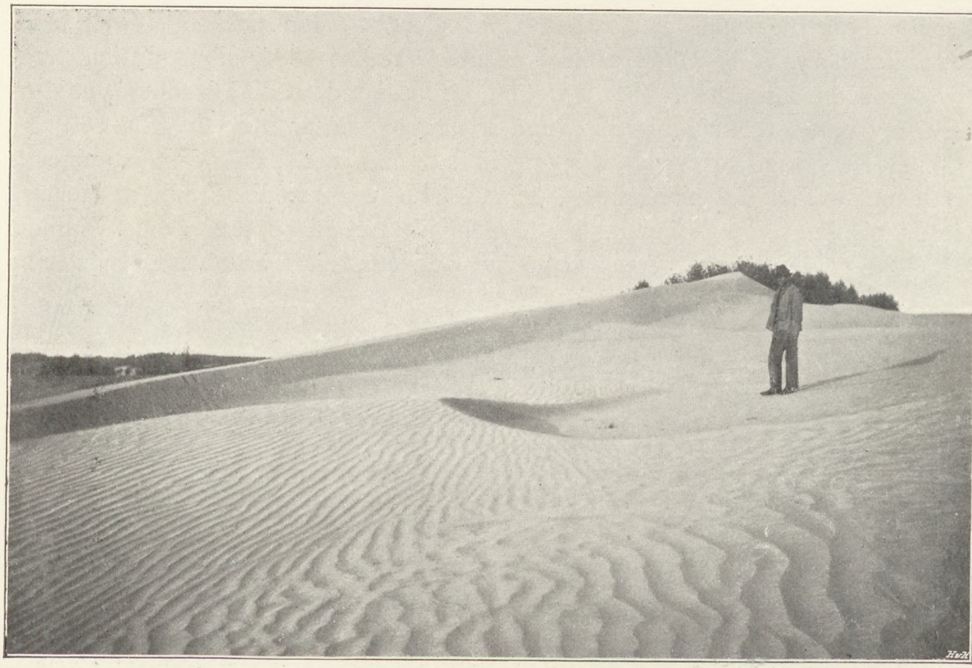
Zachowanie się ziarna piasku podczas wędrówki wydmy.

wstrzymać ruch piasku. Na tem miejscu tworzy się mała wypukłość, a tymczasem wiatr bez przerwy przynosi świeży zapas piasku, który zatrzymuje się przy przeszkodzie. Po jej obu stronach natomiast ziarna toczą się nieco dalej i sprawiają, że owalna z początku wypukłość z czasem przybiera kształt sercowaty. W miarę dalszego wzrostu wydmy, postać jej staje się podobną do podkowy, a wreszcie do półksiężyca. Tak wyglądają wydmy, które z pustyń azyatyckich znane są pod nazwą «barchanów».

Barchany są właściwą formą wydm. Gdy wydmy łączą się ze sobą i zlewają, wówczas pierwotny kształt zaciera się coraz więcej, a jego miejsce zajmują prostolinijne szeregi i długie grzbiety. Takie ugrupowanie występuje na piaszczystych brzegach morza, bo tu dowóz piasku, wyrzucanego przez morze, odbywa się wzdłuż prostej linii wybrzeża. Uderzenia wiatru toczą ziarna piasku pod górę aż na grzbiet wydmy, skąd stacza się po przeciwległym stoku. Na tem miejscu ziarnko piasku pozostaje tak długo, aż ponad niem przesunie się wydma. Gdy wreszcie ukaże się na przeciwnym końcu wydmy, rozpoczyna na nowo tę samą wędrówkę. Podłużne zagłębienia pojawiają się między jednym rzędem wydm a następnym, a poprzeczne przerywają jednostajny przebieg grzbietu. Podczas lat wilgotnych wody gruntowe podnoszą

się i wypełniają zagłębienia między wydmami. Wiatr zasypuje piaskiem te jeziorka i na ich miejscu powstaje bardzo ruchliwa mieszanina piasku z wodą czyli t. zw. lotny piasek. Pod naciskiem rozsuwa się z przerażającą szybkością, pochłaniając człowieka, który się zapędził w jego obręb. Tem większem niebezpieczeństwem grozi lotny piasek, iż jest trudnym do rozpoznania nawet dla wprawnego oka i dopiero szybko zapadająca się noga zdradza jego obecność.

Stok wydmy, o który prąd wiatru uderza, jest bardzo łagodny i jego



Barchany. Puszta Deliblat w południowych Węgrzech. (Według fotograf. zdjęcia prof. J. Cholnokyego).

nachylenie nie przekracza 5—10°. Natomiast z przeciwnej strony spadek jest stromy i może nawet przekraczać 30°.

Siła uderzającego wiatru wywołuje wędrówkę wydm. W pustyni Kizilkum ruch ten odbywa się z przeciętną szybkością około 6 m rocznie, ale w jednym dniu burzliwym wydma może przebyć drogę 20 m. J. Walther był świadkiem, jak w pustyni zakaspijskiej wydma podczas burzy zmieniła swe położenie o $^1/_2$ m w jednej godzinie. Na Pomorzu wydmy posuwają się średnio o 9—10 m, a niekiedy aż do 18 m rocznie. Gdy silny wiatr wzbije tumany piasku, widnokrąg zaciemnia się i na wybrzeżu Bałtyku ma się zupełnie wrażenie pustyni.

Na takiem posuwaniu się polegają ogromne szkody, jakie zrządzają wydmy. W niszczącym pochodzie zasypują jeziora, bagna, lasy, a nawet osad ludzkich nie oszczędzają, jak o tem świadczy smutny los wsi Kunzen nad Zatoką Kurońską. Z początkiem XIX w. wydma zbliżyła się do niej i zasypała domostwa. Przez dziesiątki lat przesuwała się ponad wsią i dopiero niedawno po przeciwnej stronie wydmy zburzony kościół wynurzył się z piasku.

Jedynym skutecznym środkiem przeciw posuwaniu się wydm jest umiejętne zasadzanie trawą lub drzewami, których korzenie utrwalają luźny piasek. Najlepsze usługi oddaje gatunek owsa, zwany Arundo arenaria. I w naszym kraju niektóre części niżu zajmują wydmy piaszczyste, których zalesienie odbywa się pod nadzorem rządu. W roku 1899 dokonano zalesienia na 186, a uzupełniono dawniejsze na $102^1/_2$ ha piasków. Na ten cel zużyto przeszło $4^1/_2$ miliona sadzonek, przeważnie sosen, a oprócz tego brzóz, olch i akacyi.

Na piaskach można spotkać rozgałęzione rurki z krzemionki, znane pod nazwą fulgurytów. Każda rurka jest śladem piorunu, który stopił piasek dokoła miejsca uderzenia. W pokładach piasku w Granzin koło Boizenburg (Mecklenburg) znaleziono fulguryt, którego bieg wężykowaty można było śledzić na długości 3,2 m i to bez osiągnięcia jego końca.

Niema obszaru na kuli ziemskiej, któryby pod względem szybkich zmian temperatury mógł dorównać pustyniom. Tutaj skoki termometru o kilkadziesiąt stopni w przeciągu zaledwie kilku godzin nie należą do rzadkości, ale przeciwnie, są regułą. Często nie można wziąć kamienia do ręki, gdyż skały ogrzewają się na słońcu nawet do 80° C. W pustyni Atakama obserwowano w dniu zimowym o godz. 7 rano — 12° C, a już w cztery godziny później termometr wskazywał + 37°. W zachodniej Afryce temperatura gruntu obniża się po nagłym deszczu o 60°, a w Askabad na pustyniach zakaspijskich zaregestrowano 14 lipca 1898 następujący przebieg temperatury gruntu gliniastego:

8 godz. rano	+ 33° C
w południe	+ 71°
w ciągu nocy	+ 30°
nad ranem	+ 26°

Wskutek tak ogromnych a nagłych różnic temperatury skały w pustyniach rozsypują się bardzo szybko. Pustynia Atakama jest zasianą tak ostrymi kamieniami, iż myśliwi muszą sprawiać obuwie dla psów. Livingstone wspomina, że w południowej Afryce słyszał wieczorem po skwarnym dniu, jak skały pękały, a odłamki staczały się z charakterystycznym dźwiękiem.

Mała ilość soli, jaka znajduje się w każdej niemal skale, odgrywa pewną rolę przy mechanicznem wietrzeniu skał w pustyniach. W nocy sól wciąga drobną ilość wody z powietrza, a gdy słońce przygrzeje, krystalizuje w szcze-

linach wskutek wyparowania wody i rozsadza skałę, podobnie jak krzepnąca woda w wilgotnym klimacie.

Błędnem zupełnie jest zdanie, że w pustyniach nigdy deszcz nie pada. Brak wody pochodzi tylko stąd, że obce są pustyniom częste a mniej gwałtowne opady, jakie są właściwością klimatu wilgotnego. W pustyni jedynym opadem atmosferycznym są gwałtowne ale wnet przemijające ulewy, które wydarzają się bardzo nieregularnie i na małej tylko przestrzeni. Gdy nad pustynią niebo zakryją chmury, wówczas deszcz pada wprawdzie w wyższych warstwach atmosfery, ale krople wody w gorącem i suchem powietrzu tak szybko parują, iż nie osiągają powierzchni ziemi. W ten sposób powietrze staje się coraz wilgotniejszem, a chmury się zgęszczają. Wtedy wystarcza najmniejszy spadek temperatury, aby przez zetknięcie się chmur z wysokiemi skałami, sterczącemi ponad morzem piasku i kamieni — wylały się na ziemię strumienie wody. Najgwałtowniejsze ulewy w naszym klimacie nie dają nawet słabego wyobrażenia o oberwaniu chmury w pustyni. Gwałtowny strumień wody toczy z początku olbrzymie odłamy skał, ale już wkrótce słabnie i zanika wskutek szybkiego parowania lub wsiąkania w wyschły grunt, na który może od szeregu lat nie padła kropla wody.

W pustyniach afrykańskich tu i owdzie spotkać można wysokie i strome skały o poziomem ułożeniu warstw. Skały te są szczątkami utworów, których zniszczenie pokryło pustynię piaskiem lub żwirem. Po każdej ulewie potok wody w swym krótkim biegu wcina się coraz głębiej w wyżyny skaliste i wyżłabia w nich t. zw. «uadi (wadi)». Są to jary o ścianach stromych i do kilkuset m wysokości dochodzących, zawalone odłamami skalnymi, a tworzące istny labirynt zakrętów bez wyjścia, zakończony amfiteatralnie. Początek takim jarom dają potoki wody, ale później nad ich rozszerzaniem pracuje proces wietrzenia i wiatr, który wymiata zwietrzały materyał, odsłaniając coraz nową powierzchnię skały na działanie niszczących czynników. Tak postępuje stopniowe rozszerzanie się jarów, jedna po drugiej znikają ściany, przegradzające sąsiednie uadi i wreszcie ze skalistej wyżyny pozostają miejscami wyniosłe odosobnione partye jako t. zw. «świadki».

W naszym klimacie wietrzenie przy współudziale wody postępuje od powierzchni coraz dalej w głąb skały. Wprost przeciwnie dzieje się w klimacie pustynnym. Każda skała, choćby najbardziej zbita, posiada pewną ilość wody, która roztwarza rozpuszczalne składniki skał, a zwłaszcza sole. Wzdłuż szczelin i porów woda wznosi się kapilarnie na powierzchnię skały i w zetknięciu z gorącem, suchem powietrzem szybko paruje, osadzając rozpuszczone substancye. Tak skały w pustyniach pokrywają się bardzo cienką, twardą korą ciemnego koloru, która chroni wyługowane i zwietrzałe wnętrze skały od rozsypania się. Wiatr porwanym pyłem szlifuje powierzchnię skały i nadaje owej korze charakterystycznego połysku. Podobnie jak twarda powłoka

na skałach w pustyni, tworzą się wykwity soli, które białą warstewką pokrywają stepy lub obszary niedostatecznie odwadniane.

Charakterystyczny krajobraz pustyni jest bezpośrednim wynikiem czynników geologicznych, które tutaj działają. Mechaniczne wietrzenie skał dostarcza materyału rozmaitej wielkości, począwszy od grubych żwirów aż do najdrobniejszego pyłu. Masy te ulegają następnie sile transportowej wiatru, który sortuje zwietrzały materyał według ciężaru. I to właśnie przenoszenie okruchów skalnych przez wiatr nawet na znaczną odległość sprawia małe uro-



Wadi Mersza koło Bir al Mashiya, po wschodniej stronie zatoki Akaba.
(Według fotograficznego zdjęcia Natterera z Geograf. Inst. Uniwersytetu we Wiedniu).

zmaicenie w krajobrazie pustynnym, polegające na tem, że w pewnych okolicach przeważa nagromadzanie się drobnego pyłu, w innych piasku lub żwiru.

Wiatry wzbijają drobny pył bardzo wysoko i unoszą go daleko poza granice pustyń. Zazwyczaj z pustynią graniczy obfitszy w wodę pas stepów i tu szata roślinna zatrzymuje przeważną część unoszonego pyłu. Bez przerwy wiatr wywiewa z pustyń najdrobniejszy materyał skalny i oczyszcza skały z osłony zwietrzałych okruchów. W ten sposób odsłaniają się partye skał o dziwacznym kształcie, podobnym np. do filarów. Pod wpływem promieni słonecznych słup taki pokrywa się u góry warstewką kory, a natomiast u dołu daleko prędzej ulega zwietrzeniu i z czasem przedstawia się jakby olbrzymi grzyb lub parasol.

Na przenoszeniu pyłu nie ogranicza się dzieło wiatru. Przy pomocy porwanego pyłu szlifuje skały, a żwirom nadaje charakterystyczny kształt trójkańczasty.

Wietrzejące piaskowce dostarczają piasku, ale wiatr nie zdoła go już przenosić na większą przestrzeń. Może go tylko toczyć jakby chmurę przy ziemi i układać w pręgi faliste lub wydmy.

Wcale nie ulegają przenoszącej sile wiatru nagromadzenia żwirów i przedstawiają się jako pozioma płaszczyzna kamienista (np. Hamada w Saharze), z której tu i owdzie wzbijają się nagle wysokie góry o stromych stokach. Najtrwalej opiera się wietrzeniu krzemień. Gdziekolwiek w pustyni występują utwory geologiczne, które zawierają buły tego minerału, jak np. skamieniałe pnie drzew, tam wskutek znacznie szybszego wietrzenia otaczającej skały kawałki krzemienia nagromadzają się w coraz większej ilości. W Egipcie koło Kairu (t. zw. «wielki las skamieniały») i w Abissynii spotykamy pustynne obszary, zasiane skrzemieniałymi pniami drzew, które w przeciwieństwie do otaczającej skały oparły się zwietrzeniu.

Odrębny widok przedstawia się w pustyniach Turkestanu. Woda, spływająca po nagłej ulewie, tworzy w zagłębieniach kałuże i jeziorka, które już po kilku dniach wysychają i pozostawiają osad gliny. Na jej powierzchni wykwita sól i zatrzymuje nieco wilgoci, a przez to zabezpiecza warstwę bardzo drobnej gliny przed uniesieniem siłą wiatru. Przeciwnie, gdy powieje wiatr obładowany pyłem, to owa mała zawartość wody sprawia, że drobne cząstki, które prąd powietrza unosi, osadzają się, a warstwa gliny staje się coraz grubszą. Tak powstaje w krajach zakaspijskich t. zw. «takyr», pustynia, pokryta zupełnie poziomym i jak posadzka równym pokładem gliny, która na słońcu wysycha i głęboko pęka. Przy wzmagającej się przymieszce piasku takyr przechodzi stopniowo w pustynię piaszczystą.

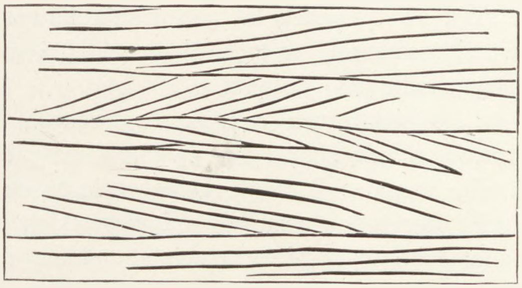
Luźne piaski i żwirowiska, pokrywające obszary pustynne, pochłaniają pewną część wody, która od czasu do czasu zbiera się chwilowo na powierzchni pustyń, i chronią ją przed szybkiem wyparowaniem w suchej atmosferze. Grubość tych luźnych utworów jest zazwyczaj bardzo znaczna, to też i woda musi przesiąkać do wielkiej głębokości, zanim natrafi na podkład nieprzepuszczalny, na którym się zatrzymuje i zbiera. Znajdują się w pustyniach miejsca, gdzie grubość piasków i żwirowisk jest wyjątkowo mała. Tutaj woda znajduje się w niewielkiej głębokości i albo sama występuje na powierzchnię ziemi, albo też przy pomocy studzien i wierceń można się do niej dostać. Jeżeli woda nie jest, jak to nieraz w pustyniach bywa, słona, to dokoła źródła zagnieżdża się roślinność. Wilgoć i rośliny wiążą drobny pył, unoszony przez wiatry, tworzą z niego warstwę ziemi urodzajnej i stwarzają warunki, sprzyjające powstawaniu trwałych siedzib ludzkich. Tak powstają «oazy», rozsiane wśród nieprzejrzanych pustyń.

Wysokie łańcuchy górskie, otaczające dokoła pustynie środkowej Azyi,

posiadają obfite opady atmosferyczne. Z ich stoków spływają liczne strumienie, które po krótszym lub dłuższym biegu przez pustynię gubią się wśród piasków lub kończą się jeziorami bez odpływu (np. rzeka Tarym). Wzdłuż strumieni ciągną się nieprzerwane wstęgi bujnej roślinności, na ich brzegach spotykamy miasta i urodzajne oazy. Gdzie rzeki dawniej płynęły, a później zmieniły swój bieg i ustąpiły miejsca martwej pustyni, tam spotykamy pasy obumarłych lasów i gruzy dawnych miast, po części zasypane przez posuwające się wydmy.

Gdzie głębokie uskoki przecinają poziomo ułożone warstwy, w tych miejscach skały stają się zazwyczaj mniej odpornemi na wpływy niszczące i tworzą się zagłębienia. Często wzdłuż uskoku wydobywają się gorące źródła, jak np. w pustyni libijskiej, a w ślad za tem pojawia się roślinność i powstają oazy.

Jeżeli sobie zadamy pytanie, czy nie znajdujemy na ziemi skał, o których możnaby powiedzieć, że powstały w pustyniach — to przedewszystkiem zwracają naszą uwagę potężne pokłady czerwonego piaskowca, jakie się tworzyły podczas okresu tryasowego (pstry piaskowiec) w środkowej i północnozachodniej Europie. Właściwości, które wyróżniają pstry piaskowiec od innych utworów, świadczą o jego powstaniu w obszarach pustynnych, bezodpływowych. Jak na powierzchni wydm piaszczystych w pustyniach, taksamo na ławicach pstrego piaskowca widać pręgi faliste, powstałe pod wpływem wiatru. Nieregularne uwarstwowanie wskazuje, że drobne okruchy skał, z których nagromadzał się pstry piaskowiec, były przenoszone i osadzane przez wiatry lub gwałtowne, przemijające strumienie wody. Po nagłych ulewach woda rozlewała się szeroko w zagłębieniach i po szybkiem wyparowaniu pozostawiała warstwę naniesionych osadów. Wysychający namuł pękał, po jego wilgotnej powierzchni stąpały zwierzęta lądowe (Chirotherium) i wyciskały swe ślady. Po jakimś czasie piasek, poruszany siłą wiatru, przesypał te szczeliny i ślady zwierząt lądowych[38]) i utworzyły się ich wierne odlewy, które zachowały się na powierzchni ławic pstrego piaskowca. Obok nich znajdują się nieraz nierówności, które odpowiadają zagłębieniom, wyżłobionym przez uderzenia kropel deszczu o powierzchnię osadów. W pstrym piaskowcu Turyngii znaleziono trójkańczaste żwiry, wyszlifowane niewątpliwie przez wiatr.



Nieregularne uwarstwowanie pstrego piaskowca koło Marburga w Hessyi.

Rzadkość skamieniałych resztek organizmów w pstrym piaskowcu rów-

nież przemawia za jego pochodzeniem pustynnem. Wprawdzie i pustynie nie są całkiem martwemi i posiadają właściwe sobie zwierzęta i rośliny, ale wskutek trudnych warunków klimatu pustynnego (brak wody, gwałtowne skoki temperatury) życie jest tutaj daleko uboższem, aniżeli gdzieindziej na ziemi i ogranicza się głównie do sąsiedztwa wody, a więc oaz, jezior słonych i brzegów rzek, których kresem są obszary bezodpływowe. Przytem niszczący wpływ czynników atmosferycznych sprawia, że szczątki (np. szkielety) zwierząt o wiele trudniej mogą się przechować na lądzie, aniżeli wówczas, gdy zostaną pogrzebane w osadach na dnie morza. Dlatego to ze wszystkich zwierząt kopalnych, jakie tylko znamy, ogromnie przeważająca część przypada na mieszkańców morza. W Ameryce Północnej, w stanach Ohio, Kentucky, Tennessee i Arkanzas od niepamiętnych czasów żyły bawoły w niezliczonych stadach i dopiero przed kilkudziesięciu laty zostały wytępione. Pomimo tego przy kopaniu w ziemi znalezienie jakiejś resztki bawołu jest wielką rzadkością. Z roku na rok zmniejsza się obszar, na którym utrzymały się jeszcze stada bawołów. A skąd po tysiącach lat panowania bawół ustąpił i pozostawił ziemię zasianą swemi resztkami, w tych okolicach już w 15—20 lat później nie widać żadnego śladu jego pobytu.

Do nielicznych resztek zwierzęcych, jakie znajdują się w pstrym piaskowcu, należą zęby ryby, zwanej Ceratodus. Dziś Ceratodus żyje tylko w Australii, w rzece Burnett, która podczas suchej pory roku peryodycznie wysycha[39]). Ceratodus różni się od wszystkich innych ryb tem, że obok skrzel posiada słabo wprawdzie rozwinięte płuca, a ta szczęśliwa okoliczność pozwala mu przetrwać posuchę i umożliwia jego egzystencyę nawet w suchym klimacie, gdzie rzeki od czasu do czasu wysychają.

Skały tryasowe krajów alpejskich są wybitnymi osadami morskimi, ale dalej ku północy tworzyły się potężne pokłady czerwonego piaskowca (tryas germański). Tutaj już z początkiem epoki permskiej widać pierwsze oznaki klimatu pustynnego. Iły i piaskowce dolnego permu tworzyły się z osadów jezior bezodpływowych lub z piasku pustyń. Złoża soli w piętrze zechsteinu mogły powstać tylko w klimacie suchym, w płytkich zatokach i odciętych odnogach morza. Z nastaniem epoki tryasowej suchy klimat i pustynie piaszczyste panują w środkowej Europie. Tu i owdzie z większych okruchów skał tworzyły się warstwy zlepieńców, w bezodpływowych kałużach osadzały się warstwy iłu lub wtrącenia wapienia, zawierające zubożałą faunę.

Dolne i górne piętro tryasu, pstry piaskowiec i kajper, są w Niemczech przegrodzone utworami wapiennymi (piętro wapienia muszlowego), które pozostały po przejściowym zalewie przez odnogę morza. Dalej ku zachodowi, w północno-zachodniej Europie i w Ameryce Północnej utwory pstrego piaskowca, składające się z grubszego materyału, tak nieznacznie przechodzą w ilaste warstwy kajpru, iż trudno między obu piętrami pociągnąć granicę. Widocznie w miarę, jak góry ulegały zniszczeniu przez czynniki atmosferyczne

i obniżały się, zwietrzały materyał skalny stawał się coraz drobniejszym i osadzały się warstwy ilaste. Owe łańcuchy górskie zostały wypiętrzone podczas okresu karbońskiego i otaczały dokoła zagłębienia śródlądowe, w których zbierały się zwietrzałe szczątki tych gór i dostarczały materyału na kontynentalne utwory tryasu. Zupełnie podobne warunki widzimy dziś na pustynnych wyżynach środkowej Azyi, ujętych w ramy wysokich łańcuchów górskich. Czerwono zabarwione osady, jakie spotykamy w piaskowcu pstrym i kajprze. dziś tworzą się jedynie przy silnym rozkładzie skał w klimacie wilgotnym a ciepłym (np. lateryt okolic tropikalnych). Możemy stąd wnosić, że i stoki owych gór tryasowych musiały posiadać klimat ciepły i wilgotny. One odbierały prądom powietrza cały zapas wilgoci i stąd zagłębienia, w których gromadziły się ich szczątki, miały charakter obszarów stepowych lub pustynnych[40]). Po gwałtownych ulewach, właściwych pustyniom, wody w swym krótkim biegu toczyły żwir, z którego tworzyły się warstwy zlepieńców wśród utworów piaszczystych.

W okolicach górzystych zwietrzały, luźny materyał skalny pod wpływem siły ciężkości stacza się z wyniosłości w doliny i tworzy u stóp stromych ścian stożkowate hałdy. Zazwyczaj grubsze części układają się na dole, zaś drobniejsze wyżej, a od rodzaju materyału zależy, czy stoki tak usypanego stożka są mniej lub więcej strome. Tak np. żwir nie wychodzi jeszcze z równowagi, gdy ściany są nachylone pod kątem 45°, podczas gdy przy nagromadzeniach bardzo drobnego materyału granica równowagi zostaje przekroczoną niekiedy już przy 10° pochyłości. Z chwilą, gdy nachylenie stoków stanie się zbyt stromem, natychmiast luźny materyał usuwa się i tak długo porusza, dopóki ściany nie otrzymają odpowiednio łagodnego nachylenia. Przy usuwaniu się produktów zwietrzenia skał ważną rolę odgrywają rozmaite okoliczności, jak wsiąkanie wody lub podmycie przez rzekę. Nawet zmiany temperatury wystarczają, aby hałdy luźnego materyału odbywały nieznaczny ruch, przyczem stoki stają się coraz łagodniejsze i stożek spłaszcza się zwolna. Taka wędrówka, dłuższa czy krótsza, spokojna czy gwałtowna, kończy się wreszcie tem, że luźny materyał dostaje się na grzbiet lodowca lub dno rzeki i zostaje uprzątnięty przez siłę przenoszącą wody bieżącej lub posuwającego się lodu.

Zdarza się często w okolicach górskich, że po gwałtownej ulewie lub nagłem topnieniu śniegów woda przesiąka i wprawia w ruch nagromadzone produkty zwietrzenia. Wówczas strumienie namułu, zawierające niekiedy tylko $^1/_3$ wody, a $^2/_3$ szlamu — staczają się jako t. zw. «mury» (Muren, Murbrüche, Ruffi) w doliny i sprawiają ogromne zniszczenie, zasypując urodzajne pola mułem i potężnymi głazami. Katastrofy te zazwyczaj nawiedzają doliny górskich potoków, a zwłaszcza w okolicach pozbawionych lasu, którego korzenie utrwalają luźne masy. To też o wiele dotkliwiej dają się uczuć smutne

skutki tego zjawiska w górach ogołoconych z lasu, niż np. w Bawaryi, gdzie kultura lasów stoi bardzo wysoko.

Z ruchem zwietrzałych mas skalnych ma wiele pozornego podobieństwa usuwanie się gór, które często bywa przyczyną strasznych katastrof. Wskutek podmycia przez wodę, trzęsienia ziemi i t. p., ogromne partye skał odrywają się wzdłuż szczeliny lub płaszczyzny, dzielącej dwie różne warstwy, z przerażającą szybkością staczają się w doliny i tu szerzą dokoła zniszczenie. Masa



Usunięcie się stoku górskiego w dolinie rzeki Dranse koło La Vallette (Szwajcarya, kanton Wallis) 15 kwietnia 1901.

skał, które przytem ulegają gwałtownemu ruchowi, bywa bardzo znaczną i miliony m^3 wcale nie należą do rzadkości. W Szwajcaryi, najwięcej znanej z tego rodzaju katastrof, znaleziono ślady, że w czasach przedhistorycznych usunęło się w dolinę Renu około 15 km^3 mas skalnych. Nie dziw tedy, że usuwające się góry zasypują niejedną miejscowość, a nawet całą dolinę i w tym wypadku wskutek zatamowania rzeki sprowadzają groźne powodzie.

Jedną z najczęstszych przyczyn usuwania się gór jest kolejne następstwo po sobie różnych warstw nachylonych. Warstwy mniej zwięzłe ulegają prędzej wymyciu przez wodę, a twardsze, pozbawione w ten sposób podstawy, tracą

równowagę i obrywają się. Taksamo warstwy przepuszczalne, leżące na nieprzepuszczalnych, a nachylone ku dolinie, gdy przesiąkną wodą — zesuwają się w dolinę po śliskiej podstawie, przyczem zostają pogięte, sfałdowane i porozrywane. Bardzo często widoczny jest związek z nadmiernem przybraniem wód, a więc topnieniem śniegu w górach, porą deszczową, gwałtownemi ulewami i t. d.

Usuwanie się gór nie jest zjawiskiem, następującem niespodzianie. Na dłuższy czas przedtem dają się zauważyć oznaki grożącego niebezpieczeństwa, jak tworzenie się szczelin, połączone niekiedy z hukiem podziemnym — a gdy je dojrzy oko człowieka fachowego, można w porę ostrzedz mieszkańców okolicy wystawionej na niebezpieczeństwo i wskazać im jedyny ratunek w opuszczeniu zagrożonych siedzib. Ale najczęściej mieszkańcy gór lekceważą wszelką zapowiedź katastrofy, nawet taką, którą nieobeznany z geologią może zauważyć. Bezgraniczne przywiązanie do siedzib bierze górę nad największem niebezpieczeństwem i znany jest tylko jeden wypadek, gdzie wczas usłuchano przestrogi.

Widownią usuwania się gór są krainy górskie. Najważniejsze wiadomości o tego rodzaju katastrofach posiadamy z krajów alpejskich. W roku 883 usunięcie się góry w Roveredo (Tyrol) spowodowało zatamowanie rzeki Adygi. W Karyntyi (Dobracz) wskutek trzęsienia ziemi w r. 1348 usunęło się kilkadziesiąt milionów m^3 materyału skalnego i zasypało 19 wsi. We wrześniu 1806 w Szwajcaryi (Goldau) 15 milionów m^3 odłamów skał zasypało przeszło 300 budynków, przyczem 457 ludzi śmierć poniosło. Również w Szwajcaryi (Elm) zdarzyła się jedna z najnowszych (1881) katastrof. Ponad miejscowością Elm wznosi się góra, z której wydobywano łupek, wybornie nadający się do wyrobu tabliczek do pisania. Przy tej exploatacyi dla braku kierownictwa technicznego nierozważnie podkopano górę, używaniem środków wybuchowych nadwerężono zwięzłość skały i tak spowodowano katastrofę. 10 milionów m^3 oderwanej skały spadło w przeciągu kilku sekund w dolinę i tu przebyło drogę $1^1/_2$ km, przyczem kilkadziesiąt budynków zostało zasypanych, a z ludzi przeszło 100 zginęło. Wskutek gwałtownego ruchu całej masy powstał silny prąd powietrza, który ludzi w górę podnosił i tak niejednego uratował. W Karpatach w lecie 1899 zesunęła się część góry w dolinę Czeremosza koło Żabiego.

W okolicach bogatych w opady atmosferyczne woda jest najważniejszym czynnikiem, niszczącym skały. Jej działanie jest tak silnem, iż zaciera wietrzenie czysto mechaniczne pod wpływem zmian temperatury. Chemicznie czysta woda rozpuszcza tylko niektóre minerały, jak sole lub gips, te jednak bardzo rzadko występują na powierzchni ziemi. Ale woda deszczowa przynosi z atmosfery pewną zawartość kwasu węglowego, a obecność tego gazu pozwala wodzie rozpuszczać węglan wapniowy, który jako wapień tworzy potężne góry na powierzchni ziemi i jako domieszka wchodzi w skład bardzo wielu skał.

Szata roślinna dostarcza wodzie, wsiąkającej w ziemię, rozmaitych kwasów organicznych (humusowych), które potęgują jej niszczący wpływ. Takimi składnikami nasycona woda nie tylko już roztwarza wapień, ale także sprowadza w skałach najrozmaitsze przemiany chemiczne, które geologia obejmuje nazwą wietrzenia chemicznego. Temu wietrzeniu najprędzej ulegają połączenia wapienne i żelaziste. Często piaskowiec, który świeżo z ziemi wydobyty robi wrażenie bardzo twardej skały — na powietrzu wnet rozsypuje się i nabiera koloru rdzawego, a ta barwa zdradza rozkład związków żelaza. Inne składniki wietrzeją trudniej, a zupełnie opiera się wietrzeniu jedynie krzemionka. Skoro woda wyługuje węglan wapniowy i rozłoży najłatwiej wietrzejące składniki, skała traci z czasem swą pierwotną zwięzłość i zamienia się w gruz, który składa się z trudniej wietrzejących minerałów.

Wszystkie utwory osadowe na ziemi pochodzą z rozkładu skał, które powstały w krzepnącej magmy. W ich skład wchodzą głównie dwa minerały: skaleń w wielu odmianach i krzemionka jako kwarc. Rozkład skaleni dostarcza rozmaitych glin i iłów, kwarc natomiast nie wietrzeje i pozostaje jako piasek. Podobnie jak przy wietrzeniu mechanicznem, tak i tutaj produkty rozkładu mogą zostać przeniesione przez rozmaite czynniki, lub też nagromadzają się na tem samem miejscu w coraz większej ilości.

Ze skał w wodzie rozpuszczalnych jedynie wapień znajduje się w potężnych masach na powierzchni ziemi, inne zaś bardzo rzadko, jak np. sól, która tworzy góry w Hiszpanii (Cardona) i w Siedmiogrodzie. Skorupa ziemska okazuje na powierzchni przeważnie skały w wodzie nierozpuszczalne, z wyjątkiem obszarów pustynnych, ubogich w opady. Toteż powierzchnia ziemi jest przedewszystkiem przedmiotem pracy mechanicznej wód, a ich działalność chemiczna ogranicza się głównie do wsiąkania i biegu podziemnego. Wody płynące przy nizkim stanie są twarde i przejrzyste, a przy wysokim mniej twarde, ale mętne. W pierwszym bowiem wypadku ich zapas pochodzi głównie ze źródeł, w drugim zaś zasilają się z spływających opadów atmosferycznych.

Woda przenika w głąb skały najłatwiej wzdłuż szczelin, a skutkiem tego proces niszczenia nie postępuje jednostajnie. Dokoła szczeliny skała daleko prędzej zostaje wypłukaną, niż w innem miejscu i tworzą się t. zw. «geologiczne organy», które często można widzieć w pokładach wapienia lub gipsu. Są to walcowate zagłębienia, z kształtu podobne do kominów, a wypełnione osadem nierozpuszczalnym, który pozostał po wyługowaniu węglanu lub siarczanu wapniowego. Taki osad nierozpuszczalny określa się nazwą eluwium.

Gdzie na powierzchni ziemi wapień tworzy potężne skały, jak np. niektóre łańcuchy alpejskie, tam woda, spływająca po ich powierzchni, rozwija silną działalność niszczącą. Najmniejsza nierówność wystarcza, aby woda deszczowa zatrzymała się w tem miejscu i rozpuszczała węglan wapniowy. Z czasem drobne szczeliny i nierówności rozszerzają się, a powierzchnia skały

wapiennej nabiera bardzo charakterystycznych zagłębień i wypukłości, zwanych «karrami» (Karren, Schratten).

Charakterystycznem dla obszarów wapiennych i wysp koralowych jest występowanie czerwonej, bardzo żelazistej gliny, której cienkie warstewki spotykamy tu i owdzie w Krasie, jako t. zw. terra rossa. Nawet najczystszy wapień zawiera pewien procent nierozpuszczalnych zanieczyszczeń, których pochodzenie poznamy, gdy będzie mowa o tworzeniu się osadów w głębiach oceanicznych. Te zanieczyszczenia, jako pozostałość po wypłukaniu wapienia



Partya «Morza Kamiennego» (Steinernes Meer) w Alpach z karrami na skałach wapiennych. (Według fotogr. zdjęcia Gullivera z Geograf. Instytutu Uniwersytetu we Wiedniu.)

przez wody atmosferyczne, nagromadzają się w niewielkiej ilości w zagłębieniach, skąd nie może ich ani woda unieść, ani wiatr porwać.

Najlepszym przykładem działania wody na skały wapienne są zjawiska, z jakiemi spotykamy się w Krasie, krainie położonej na północ i na wschód od Morza Adryatyckiego, a zbudowanej przeważnie z eoceńskich i kredowych wapieni. Stoki pochyłości pokryte są głębokiemi bruzdami, wypłukanemi przez wodę (karry). Gdzie zaś okolica jest mniej pochyłą, tam woda dłużej się zatrzymuje i silniej oddziaływa na węglan wapniony. Najsilniejszą jest czynność rozpuszczająca wody wzdłuż szczelin (zwłaszcza na granicy warstw wapienia), któremi może docierać w głąb skał wapiennych. Z rozszerzania się szczelin

wskutek wyługowania wapienia przez wodę powstają z czasem lejkowate zagłębienia, t. zw. «doliny»[41]), które zazwyczaj posiadają kształt okrągły lub owalny. Często znajduje się na dnie krasowych «dolin» warstewka czerwonej gliny (terra rossa), pozostałej po wyługowaniu węglanu wapniowego.

Odmienny rodzaj zagłębień przedstawiają «polja» w krasie hercegowińskim, które różnią się od «dolin» wydłużonym kształtem i daleko większymi rozmiarami. Najsilniejsze działanie sił górotwórczych w Hercegowinie przypada głównie na przejście z okresu trzeciorzędnego do epoki dyluwialnej. W tym to czasie doliny, któremi niegdyś płynęły rzeki, zostały gdzieniegdzie zatamowane wysokiemi poprzecznemi zaporami i wskutek tego niektóre części dolin rzecznych zamieniły się w długie, zamknięte kotliny. Wody atmosferyczne, którym ruchy skorupy ziemskiej zamknęły swobodny bieg, musiały szukać sobie podziemnego odpływu wzdłuż szczelin i przez wyługowanie wapienia rozszerzyły ich wyloty w głębokie jaskinie, znane pod nazwą «ponore». Wejście do takiego ponore jest zazwyczaj dość obszerne, ale w miarę zagłębiania się długi, kręty chodnik zwęża się coraz bardziej i stopniowo przechodzi w labirynt niezliczonych wązkich szczelinek.

Polja Hercegowiny leżą w obrębie klimatu śródziemnomorskiego, który odznacza się suchem latem, a obfitością deszczu w zimie. Pora deszczowa sprowadza w niektórych poljach peryodyczne zalewy, które corocznie na kilka miesięcy zamieniają polje w obszerne jezioro. Każdy zalew pozostawia po sobie na dnie polja cienką warstewkę drobnego osadu, który nagromadził się z nierozpuszczalnych w wodzie domieszek wapienia. Dzięki tym osadom dno polja przybiera z czasem kształt bardzo równej płaszczyzny i staje się urodzajną glebą, uprawianą podczas kilkumiesięcznej przerwy między jednym zalewem a następnym. Z nastaniem pory deszczowej woda atmosferyczna zaczyna się zbierać w poljach. Zarazem znacznie się podnosi poziom wód podziemnych w szczelinach skał wapiennych. Jaskinie (ponore), któremi w porze suchej odpływa woda z polja, teraz nie tylko nie mogą pomieścić nadmiaru wody, gromadzącej się coraz bardziej w kotlinie polja, ale przeciwnie służą za drogę, którędy nadwyżka wód podziemnych występuje na powierzchnię, potęgując zalew polja przez wodę deszczową. W ten sposób tłumaczy się, dlaczego niektóre ponory zmieniają swoją rolę, zależnie od pory roku; w czasie lata służą do pochłaniania wody z powierzchni ziemi, a podczas deszczowej pory stają się źródłem, z którego bije strumień wody.

Pięknym przykładem corocznie powtarzających się zalewów jest Popovo polje, podłużne zagłębienie na 1—8 km szerokie, otoczone dokoła wysokimi, stromymi stokami skał wapiennych górno-kredowego wieku. Od strony południowej wkracza w Popovo polje rzeka Trebinjčica, której płytkie łożysko, pozbawione wody podczas suchego lata, kończy się lejkowatymi ponorami w dnie polja. Inne ponory znajdują się nieco ponad dnem polja jako jaskinie, sięgające daleko w głąb skał wapiennych; z tych to właśnie niektóre od-



Krajobraz krasowy na pograniczu Dalmacyi i Hercegowiny koło Brgat gornje; w głębi Vlastica planina.
(Według zdjęcia Forstera z Geograf. Instytutu Uniwersytetu we Wiedniu.)

znaczają się tą właściwością, że z początkiem pory deszczowej dostarczają obfitego strumienia wody, zaś później pochłaniają wodę, która wypełnia kotlinę polja.

Zalew polja rozpoczyna się w październiku gwałtownem wezbraniem Trebinjčicy i trwa do maja. Przez pół roku polje jest jeziorem. Woda sięga miejscami do 40 m ponad dnem polja; na jej powierzchni niebezpieczne wiry zaznaczają te miejsca, gdzie w dnie polja znajdują się lejkowate ponory. Z końcem pory deszczowej ustaje dopływ wody, a ponory osuszają polje, odprowadzając wodę jeziora do szeroko rozgałęzionej sieci podziemnych szczelin

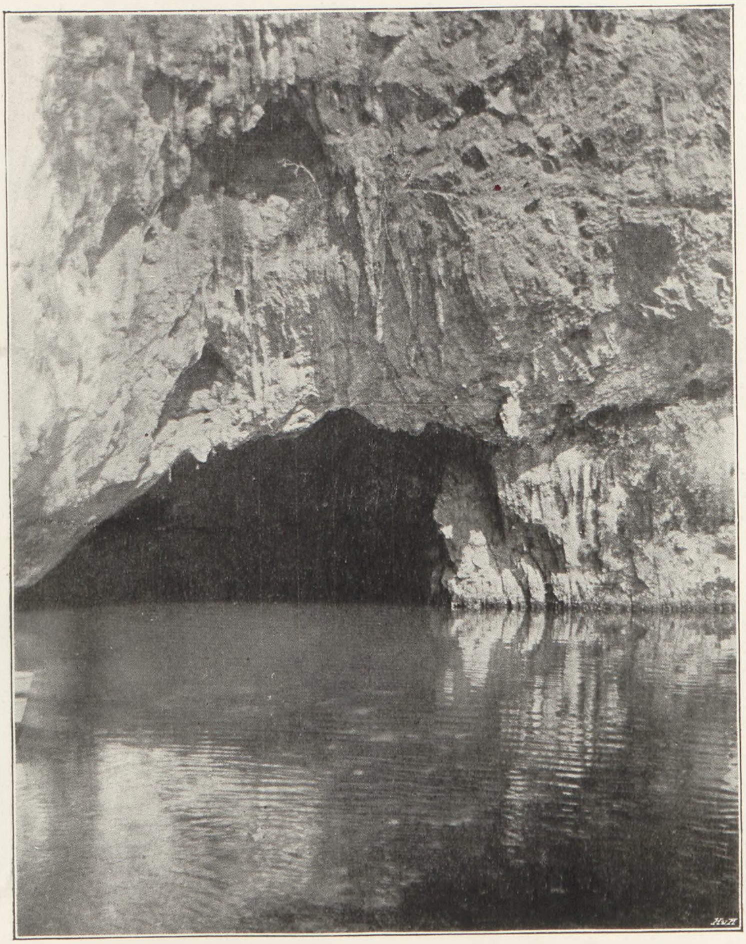


Popovo polje w czasie zalewu. (Według fotogr. zdjęcia Fr. Topića.)

i wydrążeń. Teraz rozpoczyna się uprawa dna polja, użyźnionego świeżą warstewką drobnego osadu. Ale nie zawsze zalew występuje ściśle o tej samej porze. Nieraz pojawia się nadspodziewanie wcześnie i wskutek tego, że dno polja jest równą płaszczyzną, rozszerza się nadzwyczaj szybko i już w przeciągu kilku godzin obejmuje przeważną część urodzajnych gruntów. Gdy zbiory nie są jeszcze ukończone, taki nadspodziewanie szybki zalew równa się klęsce elementarnej.

Skały wapienne szczególnie obfitują w podziemne szczeliny, wydrążenia, chodniki, pieczary i t. p. Dzięki tej właściwości skał wapiennych bardzo często jest w Krasie zjawisko, że rzeki naraz znikają, płyną przez jakiś czas

pod ziemią i znowu pojawiają się na powierzchni. Czasem wskutek zapadania się podziemnych wydrążeń powstają «doliny» na powierzchni Krasu. Źródła krasowe przedstawiają się po największej części jako jaskinie, z których bije strumień wody. Gdzieindziej rzeki powstają z małych potoków, które łączą



Źródło Buny w Blagaj koło Mostaru. (Według fotogr. zdjęcia autora.)

się w coraz większą strugę. W Krasie natomiast rzeki zazwyczaj wypływają z jaskiń odrazu obfitym strumieniem wody (np. źródło Buny).

W znacznej części Podola i na Pokuciu grube pokłady gipsu tworzą najwyższą część utworu mioceńskiego. Woda podziemna rozpuszcza pokłady gipsu i stwarza wśród nich podziemne wydrążenia. Z czasem podziemne wydrążenia zapadają się i powstają lejki, któremi zasiane są niektóre okolice Podola i Pokucia. W kilku miejscach Podola (np. w Złoczowskiem) znajdują

się lejki, które powstały wskutek stopniowego rozpuszczania utworów wapiennych, a mianowicie senońskiego marglu lub mioceńskiego wapienia litotamniowego przez wodę atmosferyczną.

Nad niszczeniem skał u wybrzeży oceanów pracuje woda morska, bogata w rozmaite sole. Wprawdzie jej zdolność rozpuszczania jest daleko słabszą aniżeli atmosferycznej, ale za to bezustanny ruch przynosi ciągle świeże masy wody morskiej i potęguje jej siłę niszczącą, której skutki można widzieć na stromych wybrzeżach wapiennych, jak np. na wyspie Capri.



Skały gipsowe w Olejowej Korolówce. (Według fotogr. zdjęcia autora.)

Jeżeli jakakolwiek siła usuwa zwietrzałe masy skalne, to ciągle świeża powierzchnia skały odsłania się na wpływ czynników atmosferycznych, które bez przerwy pracują nad zniszczeniem. Ale proces wietrzenia nie postępuje równomiernie. Tu jakaś szczelina ułatwia wnikanie wody lub mniej zwięzła warstwa wietrzeje znacznie prędzej, gdzieindziej znowu twarda partya skały o wiele dłużej opiera się zniszczeniu. W Finlandyi odmiana granitu, zwana «rappakiwi», tworzy zwały potężnych brył, które powstały właśnie wskutek niejednostajnego postępu zwietrzenia. Tak z czasem trwalsze partye sterczą ponad zwietrzałem otoczeniem, a wskutek niejednostajnie postępującego zniszczenia powstają dziwne niekiedy kształty skał, jak filary, mury, bramy lub

mosty naturalne. Ich powstawanie zależy od wewnętrznej budowy skały i często dopiero przy zwietrzeniu wychodzą na jaw szczeliny w jednolitej na pozór skale.

Wyłom Łaby na granicy Czech i Saksonii przebija potężne ławy piaskowca, który przy wietrzeniu pęka w olbrzymie równoległe ściany. Malownicze skały zjednały tej okolicy nazwę czesko-saskiej Szwajcaryi. Mniejsze skały piaskowcowe występują w Uryczu i w Bubniszczach w Karpatach.

Skały pochodzenia wulkanicznego, np. bazalt, często pękają w słupy,



Lejek wśród gipsu w Czortowcu. (Według fotogr. zdjęcia autora.)

przeważnie sześcioboczne, lub też oddzielają się kulisto. Rozpadanie się skał w słupy, które przy wietrzeniu tak wyraźnie występuje, pochodzi według wszelkiego prawdopodobieństwa stąd, że niegdyś potok lawy zetknął się z morzem i tutaj skrzepł. Najbardziej znanym przykładem występowania takich słupów bazaltowych jest wyspa Staffa w Szkocyi.

Gdy niema siły, którąby usuwała produkty zwietrzenia, to one nagromadzają się i coraz grubszą osłoną powlekają skałę. Ponieważ zmiany temperatury sięgają tylko do niewielkiej głębokości[42]), zatem wietrzenie czysto mechaniczne musi ustać, gdy skała pokryje się zwietrzałym materyałem. Natomiast woda może przenikać w szczelinach lub porach daleko w głąb i powo-

dować najrozmaitsze zmiany chemiczne. Rozkład skał postępuje coraz głębiej, a widać to najlepiej w okolicach tropikalnych, gdzie nadzwyczaj bujna roślinność chroni zwietrzałą warstwę przed uniesieniem, a zarazem wzbogaca wsiąkającą wodę w składniki organiczne, które potęgują jej działanie na skały. Wody atmosferyczne są obfitsze i cieplejsze, aniżeli w strefie umiarkowanej, dzięki czemu ich działanie chemiczne jest znacznie spotęgowane. W ciepłym klimacie woda może działać bez przerwy, podczas gdy u nas przez część



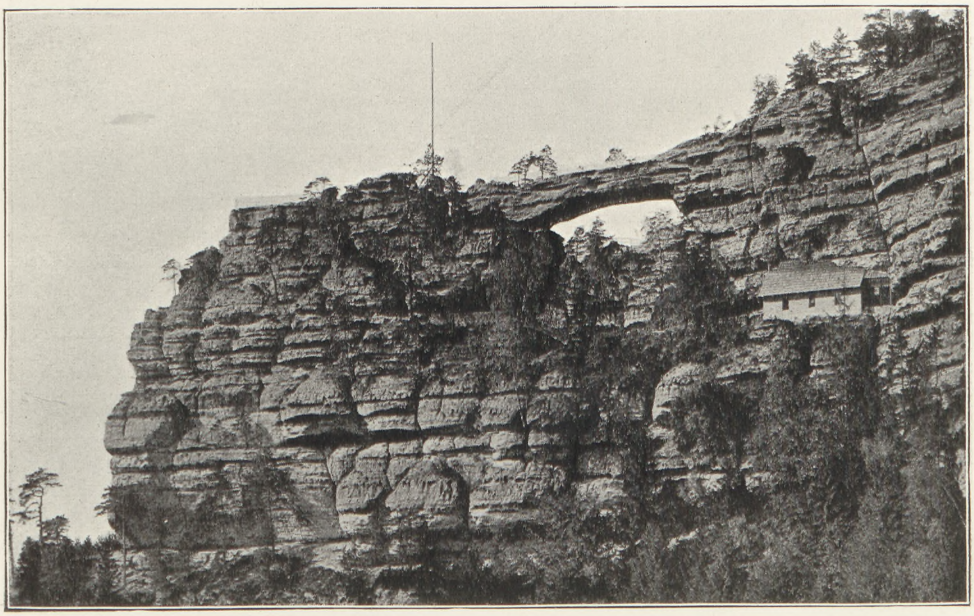
Lewy stok jaru Dupy poniżej Bedrykowiec w Zaleszczyckiem. Usuwanie się twardych ławic cenomańskiego piaskowca, spoczywającego na mało zwięzłych, ilastych utworach sylurskich. (Według fotogr. zdjęcia autora.)

roku ziemia jest zamarzniętą i nie przepuszcza wody. Bujna roślinność zatrzymuje wodę, która, zamiast odpływać i zabierać zwietrzałe masy — zwolna wsiąka w głąb ziemi.

Skoro woda odgrywa najważniejszą rolę przy wietrzeniu skał, mogłoby się zdawać na pozór, że strefy obfitego opadu będą zarazem widownią największego obniżania powierzchni lądów przez czynniki atmosferyczne. Tak jednak nie jest, bo z wzrostem wilgotności coraz bardziej rozwija się inny czynnik, który przeciwdziała szybkiemu pokruszeniu skał, a tym jest wegetacya.

Świat organiczny, w pierwszym rzędzie roślinny, odgrywa ważną rolę przy wietrzeniu skał. Wpływ wegetacyi jest dwojaki: albo popiera i przyspiesza wietrzenie skał, albo też — i to o wiele częściej — chroni je przed niszczącem działaniem czynników atmosferycznych.

Porosty pokrywają zupełnie gładką powierzchnię skały, a ich istnienie zauważono nawet na szybach szklanych. Wraz z nimi bakterye, których setki tysięcy wykryto w 1 cm^3 gleby, oraz korzenie roślin wdzierają się w niedostrzegalne szczeliny i rozluźniają najtwardszą skałę. Nie tylko mechanicznie ale i chemicznie działają korzenie roślin — przedewszystkiem drzew — na skały, a to zapomocą kwasów, które wydzielają.

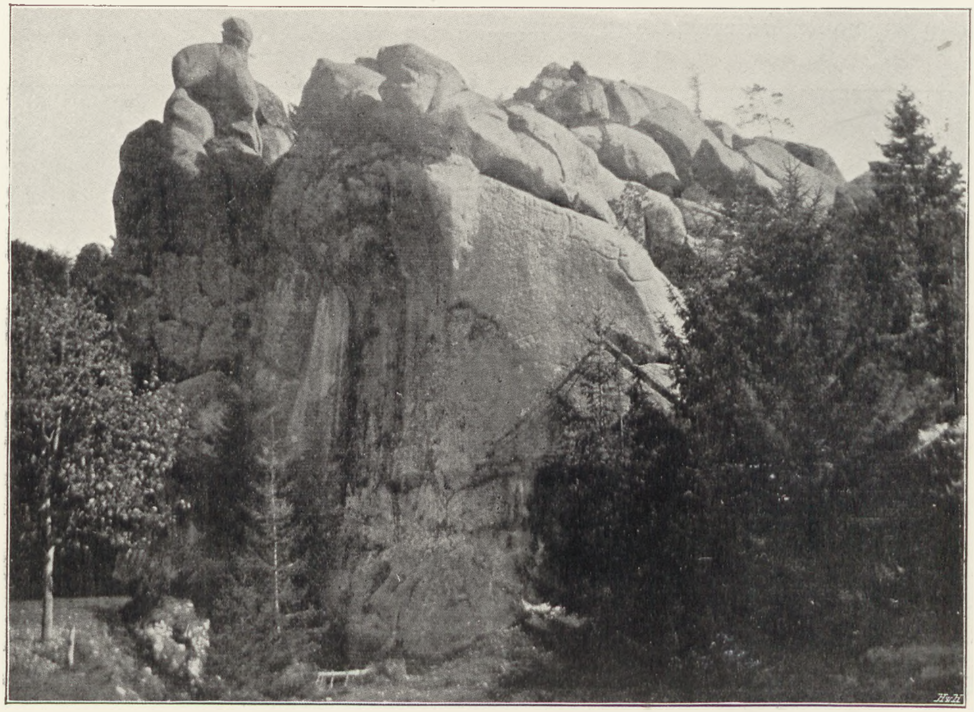


Partya w Czesko-saskiej Szwajcaryi.

Przeważającym jest wpływ ochronny szaty roślinnej. Korzenie nadają zwięzłość luźnym materyałom i utrwalają warstwę zwietrzałą, która pokrywa skałę, a przez to utrudniają postęp wietrzenia. Zrzadka rosną na pustyni odosobnione krzaki tamaryszku, a dokoła każdego nagromadza się pagórek piasku, czasem na kilka m wysoki. Taki krzaczek zatrzymuje piasek, unoszony wiatrem, utrwala go przy pomocy korzeni, a sam rośnie coraz wyżej i sterczy ponad kopcem piasku. Bardzo często korzysta się z roślinności w celach praktycznych, wysadzając trawą lub drzewami nasypy, urwiska, brzegi rzek i dzikich potoków, wydmy i t. d.

Nieraz przekonano się o smutnych następstwach wytrzebienia lasów.

Wspaniałe lasy rosły niegdyś na wybrzeżach Adryatyku, w Istryi, Krainie i Dalmacyi. Przed wiekami Wenecyanie wytrzebili lasy tych okolic. Wnet obszary, dotąd zalesione, stały się krainą dziką i skalistą, nagą i nieurodzajną, którą tylko z pustyniami możnaby porównać. Wody znikły w podziemnych szczelinach i wydrążeniach, a przy pomocy silnych wiatrów (bora) usunęły z powierzchni cienką zresztą, jak w każdym obszarze wapiennym, warstwę urodzajną. Tylko w zagłębieniach (np. w poljach) zachowała się warstewka ziemi urodzajnej. Zapóźno poznano się na takiem gospodarstwie rabunkowem



Skały piaskowca «jamneńskiego» w Bubniszczach. (Według fotogr. zdjęcia autora.)

i wzięto się do naprawiania nieobliczalnej szkody, wyrządzonej przez Wenecyan. Od r. 1883 osobna komisya zajmuje się zalesieniem Krasu i w ciągu następnych 14 lat zasadziła przeszło 32 milionów drzewek, przeważnie sosen, przy znacznym nakładzie (średnio 45 koron za hektar). Próby zalesienia mogą sprowadzić częściowe polepszenie tamtejszych stosunków, ale nie należy oczekiwać zupełnej zmiany na lepsze. Raz wyrządzonej szkody nie można tak łatwo naprawić. Kras jest typowym obszarem wapiennym, a jako taki ulega przedewszystkiem rozpuszczającemu działaniu wody, trzeba więc bardzo długiego czasu, zanim z wyługowania wapienia przez wody atmosferyczne pozostanie warstewka osadu nierozpuszczalnego (eluvium) i zmieszana z gnijącemi reszt-

kami roślin utworzy cienką pokrywę urodzajną. A gdy ją już raz po wytrzebieniu lasów czynniki atmosferyczne uniosły i nie dopuściły do ponownego nagromadzenia się, to dziś trudno łudzić się nadzieją, że powrócą w Krasie dawne stosunki, skoro znikła jedyna podstawa pomyślnego zalesienia, warstewka ziemi urodzajnej.

W porównaniu z roślinnością daleko mniejszym jest wpływ zwierząt na wietrzenie skał. W skalistych wybrzeżach morza niektóre małże i jeżowce wiercą otwory albo mechanicznie zapomocą silnych mięśni, albo też chemicznie przy pomocy kwaśnych wydzielin, które nadgryzają skały. Do rozkruszania i rozdrabniania zwietrzałych skał przyczyniąją się zwierzęta, które urządzają swe schroniska pod ziemią, jak gryzonie lub mrówki. Najważniejszą rolę odgrywają dżdżownice, ułatwiając tworzenie się ziemi urodzajnej z produktów zwietrzenia. Dżdżownice połykają cząsteczki ziemi, kruszą je, a następnie oddają na powierzchnię. W ten sposób przenoszą cząstki ziemi z głębi ku powierzchni, a przez to sprawiają, że kamienie zapadają się coraz głębiej i stopniowo znikają z roli.

Ważny udział, jaki przypada wodzie atmosferycznej przy wietrzeniu, jest powodem ścisłego związku między niszczeniem skał a warunkami klimatycznymi. Ciekawym przykładem są losy obelisku egipskiego, znanego powszechnie pod nazwą «Igły Kleopatry», który przed przeszło 30 laty przewieziono do Nowego Jorku i umieszczono w tamtejszym parku. Wystawiony na wpływ zupełnie odmiennego klimatu, o daleko większej ilości opadu i częstszych zmianach temperatury, obelisk z gwałtowną szybkością ulega niszczeniu. Klimat Nowego Jorku już przez ćwierć wieku daleko większe sprowadził zniszczenie, aniżeli tysiące lat w Egipcie, gdzie sfinksy i obeliski doskonale zachowały się od czasów starożytnych. W skład granitu, z którego wykute są owe pomniki kultury egipskiej, wchodzą w znacznej ilości krzemiany, a te w wilgotniejszym klimacie daleko prędzej ulegają rozkładowi.

Ze zwietrzałych mas skalnych, tak nagromadzających się na tem samem miejscu (in situ), jak też przeniesionych przez wodę, lód lub wiatr — tworzy się warstwa ziemi urodzajnej. Gleba składem swym okazuje, z jakiej skały powstała, a odpowiednio do tego można wyróżnić trzy zasadnicze rodzaje ziemi: gliniastą (ilastą), piaszczystą i wapienną. Z ich zmieszania w najrozmaitszym stosunku pochodzi cały szereg przejść od jednego gatunku gleby do drugiego. Tak np. gleba piaszczysta przy zwiększaniu się domieszki części gliniastych przechodzi ostatecznie w czystą glinę. Warstwa ziemi urodzajnej tworzy się z okruchów skał, a do nich przyłącza się ił, który jest ostatecznym produktem rozkładu skał i już nie może ulegać dalszym przemianom. Gleba zawiera 20—70% wody, zaś głównym warunkiem urodzajności jest obecność materyi roślinnej czyli humusu. Czynniki, które wchodzą w grę przy tworzeniu się gleby, t. j. temperatura, ilość opadu i szata roślinna, są w ścisłej zależno-

ści od stosunków klimatycznych. Ich rozmaitość na kuli ziemskiej sprawia, że różne gatunki gleby są wyłącznie przywiązane do pewnych stref klimatycznych.

Warunki klimatyczne wpływają na rozkład materyi organicznej i tworzenie się humusu. Torfowiska, które tworzą się z roślin gnijących bez dostępu powietrza, są ograniczone do chłodnej, umiarkowanej strefy. Podczas gdy w Irlandyi według Lyella pokrywają $^1/_{10}$ powierzchni kraju, ku południowi najdalej wysuwają się nad dolnym biegiem Mississippi i na wybrzeżach Florydy, a w strefie zwrotnikowej pojawiają się tylko wyjątkowo w znacznej wysokości nad poziomem morza.

W klimacie bogatym w wodę, rozkład skał postępuje znacznie dalej, niż w suchym. W pierwszym wypadku przeważają składniki gliniaste (ilaste), które nadają glebie zwięzłość, w drugim natomiast biorą górę ziemie luźne, głównie piaszczyste, a ubogie w ił. W krainach wilgotnych wody wsiąkające przenoszą części ilaste z wyższych warstw gleby do głębszej, która staje się bardzo zbitą. Do tego przyczynia się wyługowanie węglanu wapniowego z warstw górnych, a osadzanie go w dolnych. Zwięzłość głębszych warstw nie dopuszcza powietrza i korzeni roślin, wskutek czego tworzenie się humusu zostaje ograniczonem na tę część gleby, która leży najbliżej powierzchni. W krainach zaś suchych korzenie do znacznej głębokości wdzierają się w ziemię i właściwe żywienie roślin odbywa się przeważnie w głębszych warstwach gleby. Rośliny roczne docierają do zapasów wilgoci w głębszych warstwach, dokąd w okolicach wilgotnych zaledwie korzenie drzew sięgają. Końce korzeni winogradu i drzew owocowych znajdowano w głębokości około 6 m i więcej. Dzięki temu drzewa owocowe mogą obficie dojrzewać nawet w tych okolicach Kalifornii, gdzie suche lato trwa 5—6 miesięcy. Podczas gdy u nas urodzajność jest przywiązana wyłącznie do najwyższej, ciemno zabarwionej warstwy gleby, to w klimacie suchym ani barwa, ani właściwości gruntu nie okazują żadnej zmiany w kierunku pionowym, a ziemia, wydobyta z kilkumetrowej głębokości jest równie urodzajną, jak na powierzchni. W suchym klimacie najwyższa warsta gleby tylko tę odgrywa rolę, że chroni wilgoć warstw głębszych i nie dopuszcza rozgrzanego suchego powietrza do tej głębokości, w której korzenie rozwijają swą działalność.

Jest rzeczą jasną, że od ilości wody zależy, czy gleba zawiera mniej lub więcej składników rozpuszczalnych: węglanu wapniowego, połączeń sodowych i potasowych i t. d. W krainach wilgotnych gleba będzie ich posiadała znacznie mniej, aniżeli w tych, gdzie opady są rzadkimi. Tam związki chemiczne, łatwo w wodzie rozpuszczalne, mogą się nagromadzać i przy odpowiedniem nawodnieniu (jeżeli ilość ich nie jest zbyt wielką) stają się powodem ogromnej produktywności ziem w okolicach o skąpej ilości deszczu. Gleba oaz wśród pustyń azyatyckich (np. Chotan) jest nadzwyczaj urodzajną dzięki masom bardzo drobnego pyłu, który wiatry przynoszą z sąsiednich pustyń i osadzają na

polach. Warstewka pyłu, naniesiona przez burzę, działa zupełnie tak samo jak nawóz. Na tem polega też wielka i trwała urodzajność loessu w Chinach. Okolice, gdzie sztuczne nawodnienie jest głównym warunkiem bytu, historya przedstawia jako kraje w starożytności najgęściej zaludnione (Persya, Mezopotamia, Egipt).

Jeżeli gleba zawiera mierną ilość soli, to ich obecność nie jest dla urodzajności szkodliwą, ale wobec suchego klimatu bardzo korzystną. Sole bowiem mają tę właściwość, że wciągają wilgoć z powietrza. Bardzo często (zwłaszcza o rannej porze) w okolicach pozbawionych wilgoci pewne obszary wydają się ciemniejszymi. To zabarwienie pochodzi z wilgoci, którą sole wciągają z powietrza. Gdzie zaś, choćby w najbliższem sąsiedztwie, ziemia jest zupełnie pozbawioną soli, tam nie widać ani śladu rosy. Toteż przy niewielkiej zawartości soli rośliny mogą przetrwać porę suchą, przy zupełnym braku soli zabójczą, a żniwa udają się bez nawodnienia. W turkestańskiej prowincyi Fergana rolnicy utrzymują, że «sól jest życiem dla kraju» i jako nawóz przynoszą ją z silnie nasyconych miejsc na wyżyny. Podobne postępowanie w Kalifornii dało w niektórych wypadkach korzystne wyniki.

Przy zbyt suchym klimacie i za słabem odwodnieniu gleba pokrywa się podczas dłuższej posuchy wykwitami soli, a jak jest wówczas nieurodzajną, o tem świadczą znane w historyi wypadki rozsiewania soli po polach, aby kraj nieprzyjacielski uczynić jałowym. W Stanach Zjednoczonych przekonano się, że dla regularnych żniw potrzeba przynajmniej 500 mm rocznego opadu, a ta ilość deszczu stanowi granicę, poniżej której sól jako pył lub powłoka pokrywa ziemię. Wykwitająca sól składa się głównie z trzech połączeń sodowych: chlorku (sól zwyczajna), węglanu (soda) i soli glauberskiej; rzadziej zawiera znaczniejszą przymieszkę boraksu. Pustynną Newadę pokrywa jakby biały piasek gruba warstwa soli glauberskiej, na wyżynie Tarapaca (Chile) wykwity saletry są przedmiotem eksploatacyi.

Ze zwietrzałych skał krystalicznych i wybuchowych pochodzą w klimacie umiarkowanym zwały gliny, zabarwione wodorotlenkiem żelazowym na brunatno, a zawierające okruchy skał i ziarna kwarcu, który oparł się rozkładowi. Całkiem inny utwór tworzy się z takich samych skał w tropikalnych krajach Azyi (Indye, Ceylon), Afryki i Ameryki Południowej (Brazylia). Wysoka temperatura i bardzo obfite opady sprzyjają szybkiemu rozkładowi skał; równocześnie woda wypłukuje części rozpuszczalne. Wyługowane produkty zwietrzenia nagromadzają się pod ochroną niezwykle bujnej wegetacyi i rozkład postępuje szybko w głąb skał. Zamiast żółto-brunatnych glin występuje tu utwór barwy czerwonej, zwany laterytem[42]), który jest właściwym wyłącznie klimatowi tropikalnemu. Charakterystyczna barwa ceglasta pochodzi od tlenku żelazowego; jego domieszka bywa czasem tak wielką (25—36%), iż w niektórych okolicach Afryki lateryt bywa używany do wytapiania żelaza. Tworzy się przy wietrzeniu rozmaitych skał i występuje bądź na pierwszorzędnem

złożysku, t. j. na tem miejscu, gdzie powstał, bądź też na drugorzędnem, przeniesiony przez wodę. W pierwszym wypadku bywa porowaty, w drugim zbity. Bardzo często lateryt zawiera dużo ziarn kwarcu i połączeń żelaza; po odjęciu tych zanieczyszczeń, skład chemiczny czystego laterytu wskazuje, że jest on minerałem, zwanym hydrargillitem (65,52% glinki, 34,48% wody), zazwyczaj z pewną przymieszką pokrewnego hydrargillitowi diasporu (85,07% glinki, 14,93% wody). Ogromna różnica zachodzi w sposobie wietrzenia skał, zależnie od tego, czy odbywa się w klimacie umiarkowanym, czy też tropikalnym. Tam tworzy się plastyczna glina, która jest silnie zanieczyszczonym kaolinem, minerałem o składzie chemicznym: 39,1% glinki, 47,2% krzemionki i 13,7% wody. Obecność krzemionki zasadniczo odróżnia glinę od laterytu. Przytem podczas tworzenia się gliny pierwotny ustrój skały zostaje zupełnie zatarty. Całkiem odmiennie przedstawia się powstanie laterytu. Przemiany chemiczne, które towarzyszą rozkładowi skał w klimacie tropikalnym, usuwają wraz z innymi składnikami także i krzemionkę, a równocześnie tworzą się połączenia żelaza w znacznej ilości. Pierwotna struktura skały, z której powstał lateryt, zostaje często zachowaną.

Być może, że przy tworzeniu się laterytu odgrywa pewną rolę świat zwierzęcy. Wielkie mrówki (termity) wspierają tworzenie się laterytu; ich olbrzymie, na kilka m wysokie kopce są charakterystycznym rysem krajobrazu laterytowego. Dżdżownice natomiast należą do rzadkości.

Jest rzeczą bardzo ciekawą, że w bazaltowych górach Hessyi (Vogelsberg) obok glin pojawia się boksyt (bauxit), który w niczem nie różni się od laterytu i jest znany także z kilku innych miejsc w środkowych Niemczech, z południowej Francyi i Karyntyi (Wochein). Kiedy w okresie trzeciorzędnym panował klimat tropikalny w Europie środkowej, wówczas z rozkładu bazaltów hesskich tworzył się lateryt jako boksyt. Natomiast przy dzisiejszych zmienionych stosunkach klimatycznych z tego samego bazaltu powstają zwały gliny. Ich występowanie obok boksytu najlepiej świadczy o zmianie klimatu, jaka zaszła z biegiem czasu.

W okolicach wysuniętych ku północy, które w epoce dyluwialnej pokrywała gruba skorupa lodowa, gleba utworzyła się w odmiennych warunkach. Tam materyału dostarczyły skały, roztarte pod naciskiem lodów.

Mniej wilgotne obszary stepowe w pasie umiarkowanym cechuje loess, który powstał z pyłu, przez wiatr nawianego. Jest to glina bardzo drobna, żółtawo-brunatna, porowata, zawierająca znaczny procent węglanu wapniowego i ziarna kwarcu. Często znajdują się w niej szczątki zwierząt lądowych. Pory i gęsta sieć kanalików ułatwiają wsiąkanie wody i sprawiają, że na zboczach parowów i dolin loess tworzy pionowe ściany. Przy odpowiedniej ilości wody jest loess bardzo urodzajną ziemią. Rozległe obszary w Europie środkowej, a zwłaszcza w południowo-wschodniej, zajmuje loess, którego po-

wstanie przypada na młodszą epokę dyluwialną, gdy po ustąpieniu lodów zapanował klimat stepowy (por. rozdz. VII). Najwyższa warstwa loessu, zmieszana obficie z resztkami roślinnemi, dostarcza sławnego z urodzajności czarnoziemu Podola, Ukrainy i stepów czarnomorskich.

Najlepiej widać tworzenie się loessu w okolicach, które ogromnym łukiem otaczają południowy brzeg pustyń środkowo-azyatyckich. Tutaj już z końcem okresu trzeciorzędnego rozpoczęło się osadzanie drobnego pyłu, wynoszonego przez wiatry z pustyń środkowej Azyi [43]). W bardzo wielu miejscach Turkestanu i Chin trwa po dziś dzień osadzanie loessu przez wiatry. W Chinach można nieraz spotkać kamienne pomniki, grobowce itp., po sam wierzchołek przysypane warstwą loessowego pyłu. Ku wschodowi loess nabiera coraz większej grubości i rozległości, a najsilniej jest rozwiniętym w tych prowincyach Chin (Szansi, Szensi, wschodnia część prowincyi Kansu), które przylegają do południowo-wschodniej granicy pustyń środkowej Azyi. Te okolice Chin są ojczyzną loessu, który je pokrywa pokładem, do 400 metrów grubym. Woda płynąca wyżłabia w loessie głębokie parowy, które odznaczają się tem, że ich ściany są zupełnie pionowe. W tych to ścianach Chińczycy wygrzebują komory mieszkalne, leżące po obu stronach parowu jakby ulicy. Rzeki, które odwadniają obszary loessowe w Chinach, unoszą ogromną ilość bardzo drobnych, żółtych cząsteczek loessu. Stąd też pochodzą nazwy Rzeki Żółtej (Hoang-Ho) i Morza Żółtego (Hoang-Hai).



Debry wśród loes'su, około 2 km na północny wschód od Wielkopola w powiecie gródeckim. (Według fotograf. zdjęcia autora.)

VII.

Woda, która jako opad atmosferyczny spada na powierzchnię ziemi, ulega rozmaitemu przeznaczeniu. Jedna część zaraz powraca do atmosfery jako para wodna, druga spływa po powierzchni ziemi do rzek, a trzecia wsiąka w głąb ziemi, aby dać początek źródłom. Nawet najbardziej zbite rodzaje skał pochłaniają pewną, chociażby bardzo drobną ilość wody; kawałek skały, świeżo wydobyty z ziemi, jest zawsze wilgotny i dopiero, gdy dłużej poleży na powietrzu, wysycha. Pewną wreszcie część spadłego opadu zużywa roślinność.

W bardzo wielu podręcznikach geologii można się spotkać z błędnem twierdzeniem, że na parowanie, odpływ i wsiąkanie przypada po $^1/_3$ opadu. Tymczasem wzajemny stosunek tych trzech ilości jest zależnym od miejscowych stosunków klimatycznych i geologicznych. W klimacie suchym parowanie i wsiąkanie w wyschły grunt pochłania największą część opadu; tam strumienie wody bieżącej płyną tylko po gwałtownych ulewach lub podczas wilgotniejszej pory roku i gubią się po drodze, nie dochodząc wcale do morza. Tak samo budowa geologiczna rozstrzyga o ilości wody wsiąkającej, rozmaite bowiem rodzaje skał nie są w jednakowym stopniu dostępne dla przenikającej je wody. Poznaliśmy już przedtem, jak układają się kolejno na sobie warstwy osadowe, zbudowane z okruchów skalnych rozmaitej wielkości. Jedne składają się z grubszych okruchów (żwir, piasek) i te są dla wody przepuszczalne, ponieważ ziarna mineralne nie przylegają ściśle do siebie i pozostawiają dużo przestrzeni wolnej. W te pory woda atmosferyczna może wsiąkać w bardzo wielkiej ilości i w warstwie przepuszczalnej odbywa ruch nawet na znaczną odległość. Inne znowu warstwy osadowe są zbudowane z najdrobniejszych cząsteczek (ił). I te pochłaniają wprawdzie pewną ilość wody, ale, gdy raz nasiąkną, stają się dla dalszego napływu wody zupełnie nieprzepuszczalnemi. Na gruncie nieprzepuszczalnym woda atmosferyczna nie może wsiąkać, pozostaje zatem tylko parowanie i odpływ. Natomiast na gruncie, zbudowanym z utworów przepuszczalnych, wsiąkanie wody zwiększa się kosztem parowania i odpływu. Parowanie jest na warstwach przepuszczalnych daleko słabsze, aniżeli na nieprzepuszczalnych, gdyż woda szybko wsiąka w głąb, nie zatrzymując się długo na powierzchni.

Kilka przykładów da najlepsze pojęcie o wzajemnym stosunku parowania, odpływu i wsiąkania. W Czechach, w dorzeczu Łaby wysokość rocznego opadu wynosi przeciętnie 692 mm, z czego odpływa 28%, a reszta jako para wodna wraca do atmosfery. Z opadu, spadłego w dorzeczu Saali, 20% zużywa wegetacya, 50% paruje, a 30% (15% bezpośrednio, a 15% przez źródła) odpływa korytem Saali. Rzeka Mississippi zabiera $\frac{1}{4}$ opadu, a natomiast Nil zaledwie $\frac{1}{37}$, resztę bowiem wody pochłania parowanie i wsiąkanie w suchy, pustynny grunt.

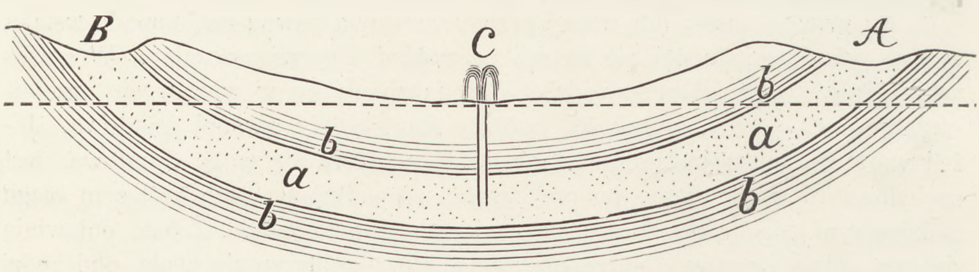
J. Murray obliczył (1887), że na powierzchnię wszystkich lądów spada rocznie 122.500 km^3 wody, a ta ilość równomiernie na powierzchni lądów rozłożona, dałaby warstwę opadu na 844 mm grubą. Z tego przeważna część, bo 87.200 km^3 zaraz wraca do atmosfery jako para wodna, a 24.600 km^3 spływa rzekami do oceanów. Reszta opadu przypada na obszary bezodpływowe, pozbawione połączenia z morzami.

Na gruncie mniej lub więcej przepuszczalnym pewna część opadu wsiąka w głąb tak długo, dopóki nie natrafi na pokład nieprzepuszczalny. Wówczas ustaje dalsze przesiąkanie w głąb, a woda zbiera się w warstwach przepuszczalnych do pewnej wysokości, tworząc zapas wody, zwanej gruntową. Jeżeli warstwa nieprzepuszczalna, ponad którą zbiera się woda gruntowa, jest nachylona, to woda płynie po niej zwolna i po dłuższym lub krótszym biegu podziemnym dostaje się znowu na powierzchnię jako źródło. Źródła pojawiają się tam, gdzie warstwa nieprzepuszczalna, która podtrzymuje wodę, podchodzi blizko powierzchni ziemi. W takim razie poziom wody sięga wyżej, aniżeli powierzchnia ziemi, i woda wydobywa się na zewnątrz jako źródło [44]). Jeżeli woda, wytryskująca ze źródła, natrafia na pochyłość, to spływa po niej i daje początek strumieniowi, zaś w okolicach równych nie może szybko odpływać i dokoła źródła tworzy się bagno.

Woda, która przesiąka utwory przepuszczalne i w nich się posuwa, może zstępować nawet do głębszych warstw. Często zdarza się, że w ten sposób woda dostaje się do warstwy przepuszczalnej, pokrytej z góry nieprzepuszczalną, która nie dozwala wodzie wydobyć się na zewnątrz i utworzyć źródła, chyba że istnieje jakaś przerwa w przebiegu warstw, np. głęboko wcięta dolina rzeki. Gdzie zaś brak takiego naturalnego wcięcia, tam trzeba, szukając wody, głęboko wiercić i otrzymuje się studnie, zwane artezyjskiemi. Na załączonym rysunku (str. 120) mamy najprostszy przykład takiej studni artezyjskiej. Warstwa przepuszczalna *a*, przesiąknięta wodą, jest z góry i z dołu ujęta w warstwy nieprzepuszczalne *b*. Warstwy nieprzepuszczalne przebiegają bez żadnej przerwy, to też i woda z warstwy *a* nie może się wydobyć na zewnątrz. Aby się dostać do zapasu wody w warstwie *a*, trzeba wiercić głęboki otwór *C*, który przebija warstwę *b* i sięga do warstwy przepuszczalnej, nasiąkniętej wodą. Kotliny *A* i *B*, w których warstwa przepuszczalna *a* czerpie swój zapas wody z opadów atmosferycznych, leżą wyżej aniżeli miejsce, gdzie wywiercono studnię artezyjską *C*. Woda stara się wznieść do tej samej wysokości, po jaką sięga w warstwie *a*,

więc też po wywierceniu otworu o własnej sile wydobywa się na powierzchnię ziemi, często pod tak wielkiem ciśnieniem, iż u wylotu otworu świdrowego tworzy wysoki wydotrysk.

Woda, która wsiąka w ziemię do mniejszej lub większej głębokości, zanim wypłynie na powierzchnię jako źródło, przepływa przez rozmaite warstwy i rozpuszcza niektóre z ich składników mineralnych, jak wapień, gips, sole i t. p. Stąd pochodzą wszystkie składniki, rozpuszczone w wodzie źródlanej. Każde źródło posiada pewną zawartość składników rozpuszczonych, wśród których najpospolitszym jest węglan wapniowy. Jeżeli jego ilość jest bardzo małą, to nazywamy wodę miękką, a gdy zawiera więcej wapienia, twardą. Woda tylko wtedy może roztwarzać węglan wapniowy, gdy zawiera bezwodnik węglowy. Aby więc wodę źródlaną oczyścić z zawartego w niej węglanu wa-



Najprostszy przykład studni artezyjskiej.

pniowego, należy ją przegotować. W chwili wrzenia wszystkie gazy, a wraz z nimi i bezwodnik węglowy, uchodzą z wody i wskutek tego wapień musi się wydzielić.

Czasem źródła przynoszą z głębi ziemi znaczniejszą ilość rozpuszczonych składników mineralnych lub gazów. W takim razie mamy źródła mineralne. Oto najważniejsze ich rodzaje:

S o l a n k i, zawierające sól zwyczajną (chlorek sodowy). W pasie mioceńskich utworów solonośnych, u północnego brzegu Karpat, wytryska bardzo dużo solanek. W dziewięciu warzelniach (Drohobycz, Lacko, Stebnik, Dolina, Bolechów, Kałusz, Delatyn, Łanczyn i Kossów) podkarpackie źródła słone zostają zużytkowane do wywarzania soli. Czasem zawierają jod i brom (Iwonicz, Rymanów, Rabka).

S z c z a w y, których głównym składnikiem jest bezwodnik węglowy, a obok niego przyłącza się nieco związków żelaza (Krościenko, Szczawnica, Żegiestów, Krynica, Burkut).

Ź r ó d ł a a l k a l i c z n e odznaczają się zawartością węglanu wapniowego i sodowego (Cieplice, Karlsbad, Marienbad).

Ź r ó d ł a ż e l a z i s t e, zawierające węglan żelazowy.

Źródła siarczane, których woda posiada znaczną zawartość siarkowodoru (Krzeszowice, Swoszowice, Szkło, Lubień, Pustomyty, Truskawiec).

Źródła gorzkie zawierają siarczan magnowy i sodowy.

Znaczną ilością rozpuszczonych składników mineralnych odznaczają się źródła gorące (termy). Ich pochodzenie i występowanie poznaliśmy w związku z objawami wulkanicznymi [45]).

W skałach zwięzłych (np. w zbitych wapieniach) szczeliny i wydrążenia podziemne odgrywają taką samą rolę, jak pory wśród piasku lub żwiru. Do nich dostaje się woda z powierzchni ziemi, krąży w nich podziemnym strumieniem i wreszcie znowu wydobywa się na powierzchnię jako źródło. Obfitość szczelin podziemnych jest szczególnie właściwością obszarów, zbudowanych ze skał wapiennych, jak np. w Krasie, gdzie rzeki nagle się gubią i po dłuższym lub krótszym biegu podziemnym znowu pojawiają się na powierzchni.

Znanym przykładem jest połączenie podziemne, jakie istnieje między Dunajem a Renem. Między Immendingen a Möhringen wsiąka z Dunaju około 2.000 litrów wody na sekundę w szczeliny w wapieniach jurajskich. Ten sam strumień wody występuje znowu na powierzchnię w odległości 11 km ku południowi i przez rzekę Rudolfszeller Aach odpływa do Renu. Wskutek rozpuszczania wapienia przez wodę, szczeliny rozszerzają się zwolna i pochłaniają coraz więcej wody Dunaju. Wskutek tego musiano w ostatnich czasach zalepiać szczeliny cementem, aby zapobiedz zwiększaniu się ubytku wody z Dunaju.

Badanie podziemnych strumieni wody, ich łączności, szybkości, z jaką płyną i t. d., odbywa się zapomocą barwienia wody w tem miejscu, gdzie strumień nagle znika, gubiąc się w szczelinach. Najlepiej służy do tego fluoresceina, połączenie chemiczne, którego 1 g może aż 35—40 tonnom wody dać charakterystyczną, zupełnie dobrze dostrzegalną barwę.

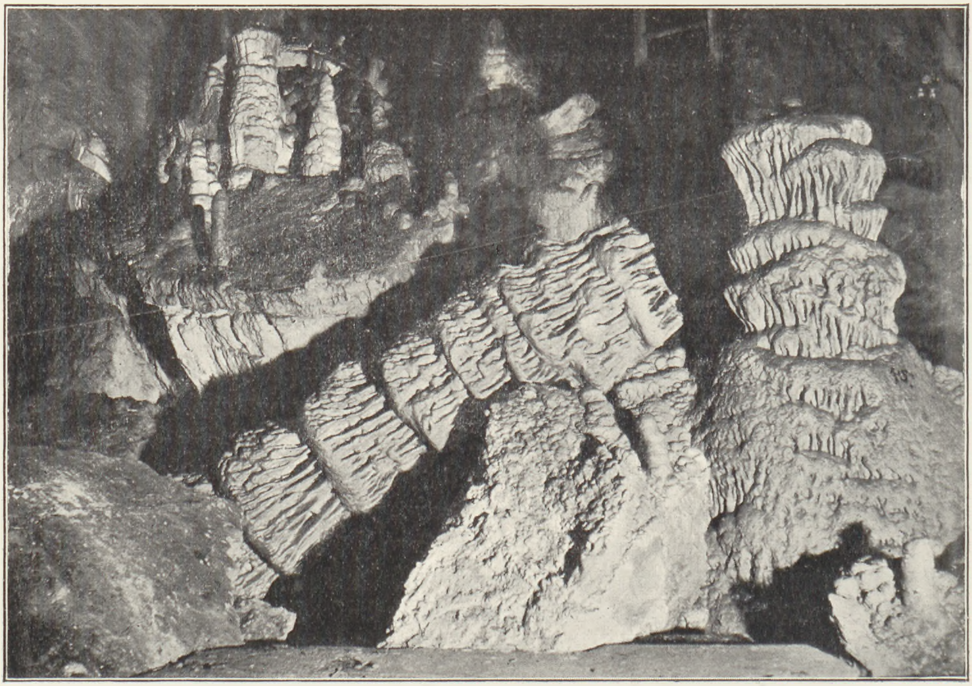
Czasem prosty przypadek może wykryć podziemne połączenie między dwiema rzekami. Tak stało się z rzekami Loue i Doubs we Francyi, w obrębie gór Jura, zbudowanych przeważnie z wapieni. Podczas pożaru wielkiej fabryki absyntu w Pontarlier, położonej nad rzeką Doubs, ogromna ilość absyntu spłynęła do rzeki i zmieszała się z jej wodą. Rzeka Loue wypływa z groty w odległości około 12 km od Pontarlier. W 48 godzin po pożarze, w okolicy źródeł rzeki Loue dała się uczuć silna woń absyntu. Badanie chemiczne wykazało obecność absyntu w wodzie, zaczerpniętej ze źródła i ostatecznie stwierdziło, że rzeka Loue jest podziemnem ramieniem rzeki Doubs.

W swym biegu podziemnym woda nie tylko rozpuszcza, ale także może osadzać składniki mineralne, jeżeli natrafi w głębi skał na wolną przestrzeń, np. na wydrążenia (jaskinie) w skałach wapiennych.

Jaskinie są właściwością skał wapiennych. Jedne wapienie (np. koralowe) już z natury swej okazują liczne i wielkie wydrążenia, inne zaś nabywają ich dopiero wskutek działania wody podziemnej, która rozpuszcza węglan wapniowy.

W jaskini woda wycieka ze szczelin i paruje, a przytem uchodzi zawarty w niej bezwodnik węglowy. Wskutek tego wapień osadza się i powleka ściany jaskini, tworząc słupy, które zwieszają się z powały (stalaktyty) lub też sterczą z dołu ku górze (stalagmity). Osadzanie się wapienia postępuje dalej; stalagmity stają się coraz wyższymi, stalaktyty wydłużają się coraz bardziej ku dołowi, aż wreszcie jedne i drugie zlewają się w jednolite kolumny, które robią wrażenie, jakby podpierały strop jaskini.

Wody źródlane, wody atmosferyczne, które po deszczu spływają po powierzchni ziemi i wreszcie wody, powstające z topnienia śniegu lub lodow-



Słupy wapienne w Pieczarach Bialskich w Tatrach.

ców — wszystkie razem dają początek strugom wody bieżącej: potokom i strumieniom, łączącym się ze sobą w coraz większe rzeki. Potoki, których zapas wody pochodzi w całości z wód atmosferycznych, nie mają stałego biegu. Po deszczach płyną gwałtownym nieraz strumieniem wody, w czasie zaś posuchy zupełnie wysychają i odsłaniają na dnie bezwodnych parowów stosy nagromadzonych okruchów skał. Aby strumień wody bieżącej posiadał przez cały rok trwały bieg, musi koniecznie zasilać się w części ze źródeł. W takim razie w żadnej porze roku nie przestaje płynąć, jakkolwiek ilość wody w wysokim stopniu zależy od napływu wód atmosferycznych. Gdy brak opadów

atmosferycznych przez dłuższy czas, stan wody w rzece jest nizkim, natomiast podnosi się po deszczach lub podczas tajania śniegu nieraz tak znacznie, iż powstają groźne powodzie.

Szata roślinna zatrzymuje pewną część opadów atmosferycznych i sprawia, że ich odpływ nie odbywa się nagle, ale zwolna. Dzięki temu wegetacya jest doskonałym regulatorem odpływu wody w rzekach. Strumienie, które odwadniają okolice bezleśne, okazują bez porównania większe i gwałtowniejsze zmiany w stanie wody, aniżeli w obszarach lesistych.

Rzeki są najważniejszą drogą, po której szczątki skał dostają się z lądów do morza. Ładunek mineralny rzek składa się z trzech części, a mianowicie ze składników, w wodzie rozpuszczonych (wapień, gips, sole), z najdrobniejszego materyału skalnego (ił, namuł), który pozostaje zawieszonym w wodzie i nadaje jej mętną barwę, a wreszcie z grubszych okruchów skał (piasek, żwir), toczonych zwolna po dnie przez prąd rzeki. Z wyjątkiem obszarów suchych, bezodpływowych, brak zresztą na powierzchni ziemi skał, w wodzie rozpuszczalnych. To też zapas składników, rozpuszczonych w rzekach, pochodzi przeważnie z wód źródlanych. Natomiast materyału nierozpuszczalnego, mechanicznie unoszonego, dostarcza woda, spływająca po powierzchni ziemi. W porze suchej, przy nizkim stanie wody, rzeki zasilają się przeważnie ze źródeł, a ich woda jest przejrzystą i twardą. Przy wysokim zaś stanie wody, po obfitych opadach lub podczas tajania śniegu, woda w rzekach staje się mętną i miękką. Czasem po gwałtownych opadach atmosferycznych woda płynąca zabiera tyle okruchów skał, iż zamienia się w strumień gęstego szlamu.

Wielkość materyału, unoszonego mechanicznie przez rzekę, zależy od szybkości prądu, a więc od nachylenia koryta czyli spadku rzeki. W miejscach, gdzie spadek nagle się zmniejsza, siła prądu słabnie i następuje szybkie osadzanie się unoszonego materyału skalnego. W ten sposób powstają rozległe żwirowiska w kształcie płaskich stożków u ujścia jednej rzeki do drugiej lub u wylotu dolin z gór w niziny.

Gdziekolwiek na powierzchni ziemi woda atmosferyczna natrafi na luźne okruchy zwietrzałych skał, porywa je ze sobą. Im gwałtowniejszy deszcz, tem większe okruchy skał może woda poruszać i przenosić na inne miejsce, tem więcej unosi zwietrzałych mas skalnych. Tę rozmywającą czynność wody atmosferycznej widać doskonale tam, gdzie występują nagromadzenia mało zwięzłych utworów (glina, żwir), których cząsteczki woda może łatwo zabierać. Tak np. koło Bozen w Tyrolu znajdują się zwały gliny, wśród której rozsiane są większe głazy. Woda, spadając jako opad atmosferyczny, rozmywa i zabiera glinę, gdzie jednak napotka na większą bryłę, leżącą na powierzchni gliny, musi ją omijać. Każdy głaz chroni znajdującą się pod nim glinę przed rozmyciem, a tymczasem dokoła woda atmosferyczna dalej rozwija swą niszczącą pracę i żłobi coraz głębsze parowy. W ten sposób pod wpływem wody atmosferycznej zwały gliny zostały pocięte w słupy, do kilku-

dziesięciu m wysokie, a na każdym z nich jakby czapka nasadzony jest głaz, który chronił glinę przed zabraniem przez wodę.

Przy pomocy toczonych i zawieszonych okruchów skał, woda bieżąca rozwija silną czynność żłobiącą, ściera i niszczy nawet najtwardsze skały, pogłębia i rozszerza coraz bardziej swoje łożysko. Tę pracę wód bieżących, której dziełem są doliny rzek, nazywamy erozyą.



Piramidy gliny w Segonzano w Tyrolu.
(Według fotograficznego zdjęcia G. Götzingera.)

Największym w świecie przykładem erozyi jest jar (canyon) rzeki Colorado w Ameryce Północnej. W zachodniej części Stanów Zjednoczonych, między górami Wasatch a Górami Skalistemi, znajduje się wyżyna, wzniesiona średnio na 2000—3000 m nad poziomem morza. Płyta ta jest zbudowana z poziomo ułożonych utworów, które bez najmniejszej przerwy osadzały się jedne na drugich przez cały szereg okresów geologicznych, począwszy od węglowego aż po epokę eoceńską. Po osadzeniu się tych utworów płyta została pociętą głębokimi uskokami, wzdłuż których niektóre części wyżyny zapadły się i znalazły w niższem

położeniu od sąsiednich. W ten sposób wyżyna podzieliła się na kilka mniejszych o rozmaitej wysokości.

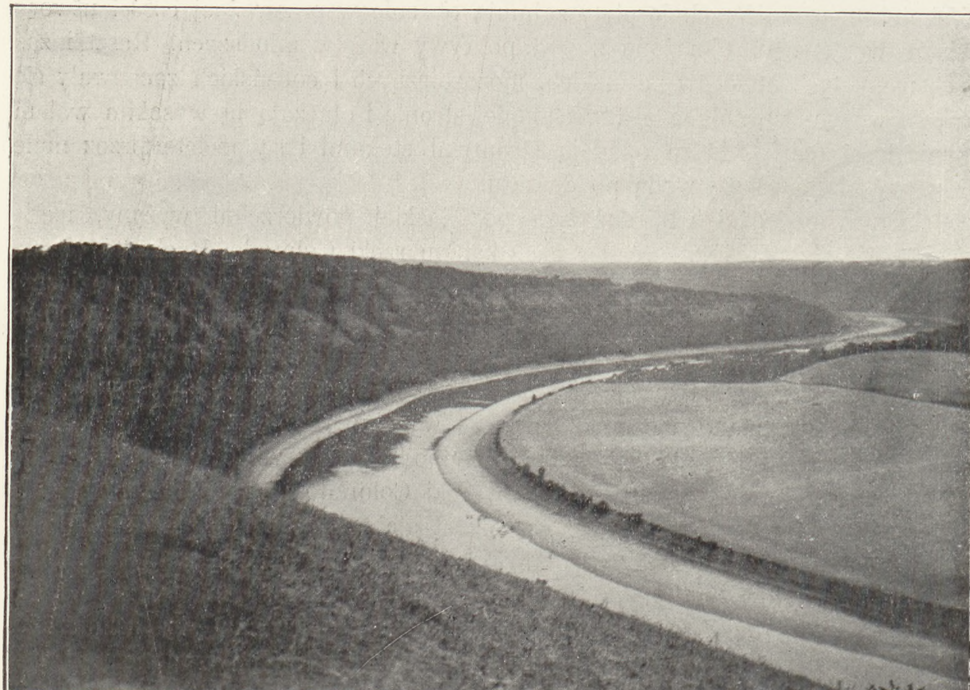
W epoce eoceńskiej kończy się osadzanie utworów, wyżyna wynurza się z głębi wód, które ją przez tyle okresów geologicznych pokrywały i zostaje wystawioną na niszczące działanie czynników atmosferycznych. Niegdyś warstwy paleozoiczne, mezozoiczne i eoceńskie bez przerwy pokrywały całą wyżynę. Wszystkie te utwory, razem mniej więcej na przeszło 3000 m grube, zostały z biegiem czasu rozluźnione przez wietrzenie i spłukane z wyżyny przez wody bieżące. Wskutek tego powierzchnię płyty zajmują obecnie w przeważnej części utwory wieku węglowego, obnażone z pod pokrywy warstw młodszych. Resztki zaś tych usuniętych utworów permskich, mezozoicznych i eoceńskich zachowały się dokoła wyżyny po północnej i wschodniej stronie i otaczają ją wysokim wałem wyniosłości (cliffs), które opadają stromymi stokami i są pocięte przez małe jary, wypełniające się wodą po deszczu.

Przed podróżnikiem, dążącym po płaskiej powierzchni wyżyny, nagle otwiera się głęboka przepaść, jar czyli kanion rzeki Colorado. Rzeka ta obrała sobie drogę przez wyżynę, zupełnie niezależnie od jej budowy geologicznej i na przestrzeni 350 km wyżłobiła jar, którego głębokość wynosi 1000—2000 m W górze kanion jest szeroki (miejscami do 20 km) i dopiero w głębi nagle się zwęża i ścieśnia, tworząc ciemną przepaść, na której dnie odsłaniają się skały granitowe, stanowiące podkład całej wyżyny.

Dawniej klimat wyżyny był prawdopodobnie o wiele wilgotniejszy od obecnego, trwałe dopływy spływały do rzeki Colorado i wówczas to powstała wyższa, szeroka część kanionu. Natomiast głębsza, wązka jest dziełem rzeki z czasów najnowszych, kiedy zapanowały dzisiejsze stosunki klimatyczne. Obecny klimat wyżyny jest suchy, okolica ma wygląd nagi i opustoszały, a tylko wyżej wzniesione części otrzymują więcej opadów i pokrywają się roślinnością. Wietrzenie skał w klimacie suchym nadało stromym ścianom kanionu nadzwyczaj malownicze kształty, wyrzeźbiając w nich amfiteatralne rozszerzenia, ruiny, wieże, słupy, gzymsy i t. p. Pod wpływem klimatu, ubogiego w opady atmosferyczne, skały bardzo szybko wietrzeją i rozsypują się w gruz. Nad oczyszczaniem wyżyny z zalegających ją okruchów skał pracują chwilowe strumienie wody, które od czasu do czasu, po gwałtownych ale miejscowych ulewach staczają się do rzeki Colorado z potężnym ładunkiem okruchów skał. Często objętość materyału skalnego, toczonego przez takie chwilowe strumienie, bywa 2—3 razy większą aniżeli wody. Jedynie rzeka Colorado, wypływająca z bardzo wilgotnych stoków Gór Skalistych, posiada trwały i obfity zapas wody, a dzięki silnemu spadkowi i szybkiemu wietrzeniu skał, które dostarcza ogromnej ilości okruchów, mogła rozwinąć tak niezwykłą czynność erozyjną.

Zupełnie podobnemi, chociaż bez porównania mniejszemi, są doliny czyli »jary« rzek płyty podolskiej, zbudowanej z prawie poziomo ułożonych warstw osadowych, które spoczywają na granitowej podstawie.

Wspomnieliśmy już o rzece Colorado, że jej kanion jest niezależny od budowy wyżyny. Podobne zjawisko można zauważyć także u bardzo wielu innych rzek. Często zdarza się, że rzeka, która natrafia w swym biegu na przeszkodę, np. na wysokie pasmo gór, nie opływa takiej zapory dokoła, ale przebija się przez nią wązką, głęboko wciętą doliną (przełomy). Tego rodzaju doliną jest np. przełom Dunaju koło Orsowy, zwany »Żelazną Bramą«, przełom Dunajca w Pieninach i wiele innych.



Jar Dniestru między Łuką a Korniowem w powiecie horodeńskim.
(Według fotograficznego zdjęcia autora.)

Dwojako starano się wytłumaczyć to dziwne zjawisko, że rzeki nie omijają przeszkód, ale się przez nie przedzierają. Jedni przyjmują, że rzeka, tworząca dolinę przełomową, wypływała kiedyś na stokach gór, które przecina. Wskutek siły żłobiącej rzeka wcinała się coraz głębiej, a zarazem posuwała swe źródła w głąb łańcucha górskiego i przybierała coraz więcej dopływów (erozya wsteczna). W ten sposób doszło z czasem do tego, że rzeka przecięła pasmo górskie i przeniosła swe źródła na drugą stronę łańcucha, przez który przebija się dolina przełomowa. Być może, że w niektórych wypadkach bieg rzek jest starszym, aniżeli pasma górskie, w których wyżłobiły doliny przełomowe. W miarę, jak łańcuch górski zwolna i stopniowo się wznosił, rzeka pra-



»Pass Lueg«, dolina przełomowa Salcachy powyżej Salcburga.
(Według fotografii Würthle'go w Salcburgu.)

cowała coraz silniej nad usuwaniem przeszkody i jakby piła przecinała wznoszące się góry, żłobiąc coraz głębszą dolinę przełomową. Zarazem rzeka mogła natrafić na pęknięcia (uskoki), wzdłuż których skały stawiły mniejszy opór erozyi.

Od źródeł dążą rzeki po nachyleniu powierzchni lądów ku morzu. Nie zawsze bieg rzeki obiera najkrótszą i najprostszą drogę do morza, ale często zbacza i tworzy liczne zakręty. Dobrym przykładem krętego biegu rzeki jest Dniestr na Podolu. Odległość między Niżniowem a Zaleszczykami wynosi w prostej linii 65 km. Tymczasem bieg Dniestru tworzy na tej przestrzeni tak częste i znaczne zakręty, iż długość jego łożyska międy temi miejscowościami dochodzi do 137 km.

W miarę, jak rzeka oddala się od źródeł, zazwyczaj nachylenie koryta czyli spadek coraz bardziej się zmniejsza. W ślad za tem słabnie siła prądu i zmniejsza się wielkość cząsteczek mineralnych, które woda może unosić. Równocześnie okruchy, toczone na dnie łożyska, ocierają się wzajemnie o siebie, zaokrąglają i rozdrabniają. Na podstawie tych zmian w spadku i w unoszonym materyale, jakie zachodzą między źródłem a ujściem, podzielono bieg rzeki na trzy części, a mianowicie na bieg górny, środkowy i dolny.

W górnym biegu rzeka posiada spadek silny i niejednostajny, a bystry prąd wody toczy nawet wielkie głazy. W tej części strumień rozwija najsilniejszą czynność żłobiącą, o której świadczą głęboko wcięte doliny.

Wskutek niejednostajnego spadku powstają wodospady, które najczęściej są właściwością górnego biegu rzeki. Gdzie strumień natrafi w swem łożysku na jakąś przeszkodę, np. na twardszą warstwę, która dłużej opiera się erozyi niż sąsiednie i tworzy próg, tam powstaje wodospad. Strumień wody spada gwałtownie z rozmaitej, czasem bardzo wielkiej wysokości i przy pomocy toczonego żwiru wyżłabia poniżej wodospadu głębokie, kotłowate zagłębienie. Zarazem wskutek żłobiącej siły stopień, po którym woda spada, zostaje zwolna zniszczony i wodospad cofa się wstecz, jak np. sławny wodospad Niagary w Ameryce Północnej. Jeżeli próg nie jest tak wysoki, aby mógł dać początek wodospadowi, rzeka płynie w tem miejscu o wiele prędzej i pieni się, a rwący prąd wody tworzy liczne wiry. Są to t. zw. szypoty. Tak np. sławne »porohy« Dniepru znajdują się tam, gdzie rzeka po przecięciu skał osadowych natrafia na bardzo twarde granity, które tworzą podkład płyty ukraińskiej. Szypoty w kanionie rzeki Colorado znajdują się nie tylko tam, gdzie na dnie koryta pojawiają się skały granitowe, ale także w tych miejscach, gdzie uchodzą dopływy i osadzają wiele okruchów skalnych. Wskutek tego powstaje przeszkoda, która poprzecznym wałem przecina koryto rzeki.

W średnim biegu spadek rzeki jest znacznie mniejszy i jednostajniejszy, wodospady znikają, a prąd wody staje się spokojny. Rzeka może unosić tylko drobniejszy materyał, który pochodzi z roztarcia i pokruszenia większych okruchów skał, zalegających jej łożysko w górnym biegu. Obok erozyi odbywa się

także miejscami osadzanie materyału, unoszonego przez rzekę (akkumulacya). Przy wysokim stanie wody przeważa pierwsza, przy nizkim druga.

Bieg dolny wreszcie odznacza się bardzo małym spadkiem i leniwym prądem wody, wskutek czego powstają liczne zakręty. W dolnym biegu przeważa akkumulacya, a tylko najdrobniejszy materyał unosi rzeka dalej, aby go osadzić u swego kresu, u ujścia do morza.

Nie u wszystkich rzek można te trzy części biegu ściśle oddzielić. Rzeki, których źródła znajdują się nie w górach, ale na nizinie, nie będą oczywiście



»Pereboj«, wodospad Prutu na ławicach jamneńskiego piaskowca w Jaremczu.
(Według fotograficznego zdjęcia autora.)

miały biegu górnego z jego wszystkiemi właściwościami. Gdzie znowu łańcuchy górskie przylegają bezpośrednio do morza, tam krótki bieg rzeki będzie jedynie górnym, a braknie środkowego i dolnego.

Po dłuższym lub krótszym biegu rzeka uchodzi do morza. Liczne eksperymenta wykazały, że najdrobniejsze składniki mineralne, które pozostają zawieszone w wodzie, daleko prędzej opadają w wodzie słonej, aniżeli w słodkiej. To też w pobliżu ujścia rzeki do morza osadza się największa część okruchów skał, zabranych z powierzchni lądu, a tylko bardzo mała ilość do-

staje się na pełne morze. U ujścia niektórych rzek nagromadzanie się osadów jest widocznem. Ujście zamula się i zabagnia coraz bardziej, a wreszcie wynurza się ponad poziom wody płat lądu, który ku morzu rozszerza się i ma kształt trójkąta. Dla podobieństwa do greckiej litery Δ nazwano takie nagromadzenia osadów u ujść rzecznych deltami. Wskutek ciągłego osadzania materyału przez rzekę, delty zwiększają się i wysuwają coraz dalej w morze, a wśród nich rzeki wiją się leniwo, tworzą liczne zakręty i dzielą się na ra-



Imatra w Finlandyi: szypoty rzeki Wuoksen.
(Według fotograficznego zdjęcia prof. R. Zubera.)

miona. Wzrastanie delt bywa niekiedy tak szybkiem, iż w krótkim czasie widać jego skutki. Wybrzeże staje się niedostępnem dla większych okrętów, porty zostają zamulone, a miasta, które zawdzięczały swój dobrobyt położeniu nad morzem, odsunięte od morza i upadają.

Czy rzeka ma ujście otwarte, czy też tworzy deltę, to zależy od wielu przyczyn. Przedewszystkiem rozstrzyga ilość materyału, jaką rzeka rocznie przynosi z lądu i osadza u ujścia. Prądy morskie wzdłuż wybrzeży w jednem miejscu zabierają osady, a gdzieindziej je nagromadzają i w ten sposób mogą



Krajobraz lodowcowy w Alpach Oetzthalskich ze szczytem Weisskugel (3741 m) w środku.
(Fotografował Würthle w Salcburgu.)

utrudniać lub wspierać tworzenie się delt. Jeżeli morze w pobliżu ujścia jest płytkiem, rzeka może budować deltę. Gdzie natomiast dno morza tuż przy brzegu opada nagle do wielkiej głębokości, tam powstanie delty jest niemożliwem. Roślinność w wysokim stopniu przyczynia się do zatrzymywania i utrwalania luźnych osadów rzecznych. Doskonałym przykładem takiej rośliny jest mangrove, która porasta wybrzeża w okolicach podzwrotnikowych. Jej korzenie tworzą zwartą sieć, która podczas odpływu morza sterczy ponad wodą.

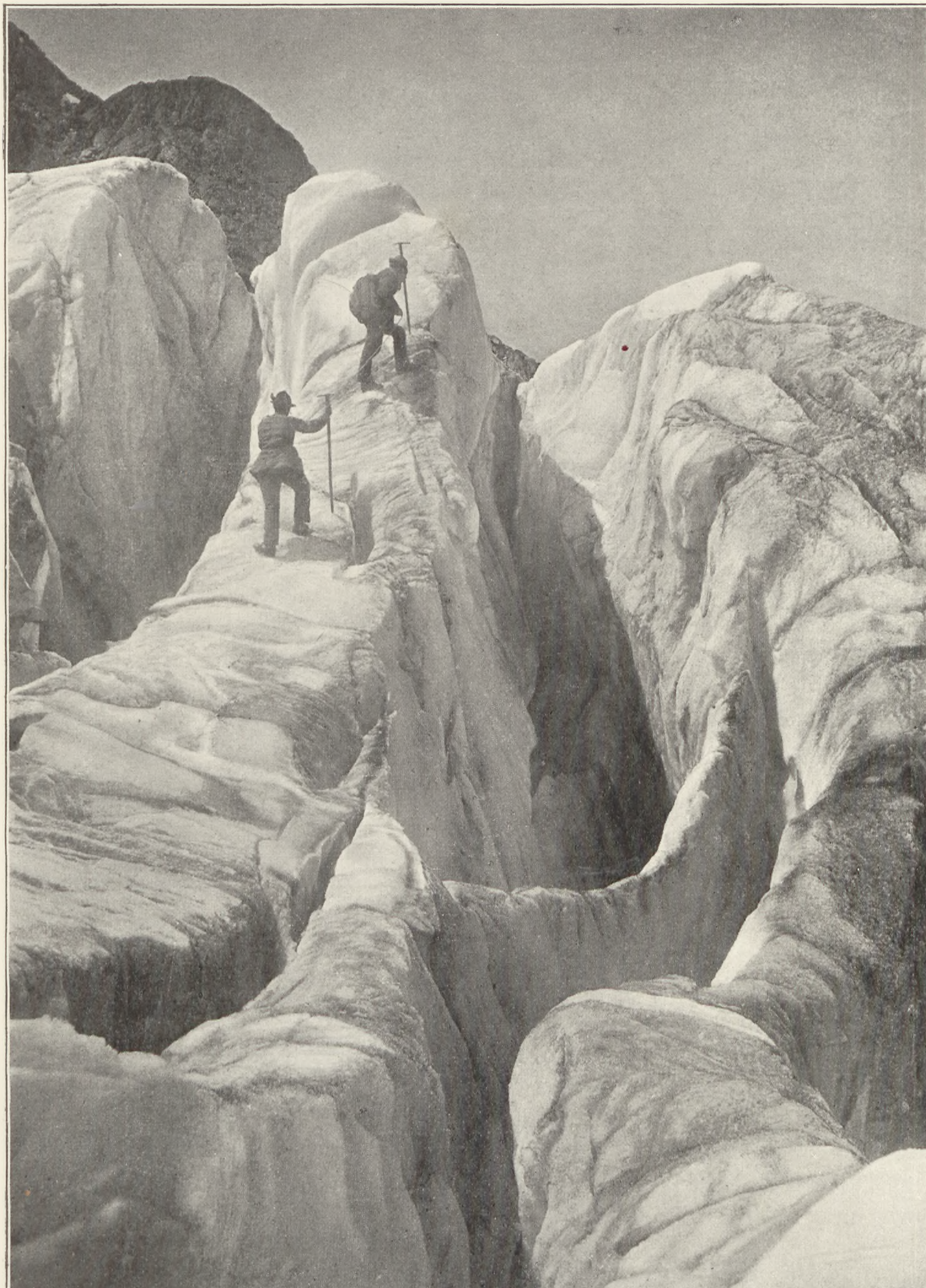
Bardzo ważną rolę w ukształtowaniu ujścia rzeki odgrywa nieznaczne, ale stałe przesuwanie się linii wybrzeżnej. Ujście rzeki musi jak najściślej stosować się do poziomu morza. Jeżeli poziom morza opada, w takim razie rzeka pogłębia swe łożysko i usuwa swe dawniejsze osady, a wskutek tego ujście pozostaje otwartem. Resztki tych dawniejszych osadów ciągną się jako wyraźne terasy po obu stronach doliny. Gdzie natomiast poziom morza wznosi się, tam i rzeka musi podnosić swe koryto, zasypując je coraz bardziej osadzonym materyałem.

W ten sposób powstały limany Dniestru, Dniepru i wielu mniejszych rzek na północnem wybrzeżu Morza Czarnego. Ujścia tych rzek przedstawiają się jako długie, płytkie zatoki, w części lub zupełnie odcięte od morza piaszczystymi wałami (»peresypy«). W epoce dyluwialnej, gdy na stepach czarnomorskich tworzyły się zwały nawianej gliny (loess), poziom Morza Czarnego był niższy od obecnego, a odpowiednio do tego rzeki miały głębiej wcięte koryta. Później morze zaczęło się podnosić, zalało ujścia rzek czarnomorskich i utworzyło z nich limany. Ale równocześnie rzeki skutecznie pracowały nad zasypaniem zatopionych ujść i pokryły dna dawnych dolin warstwą osadów, grubą co najmniej na 20—40 m.

W miarę, jak na powierzchni ziemi wznosimy się coraz wyżej, obniża się temperatura, a wskutek tego ilość opadu atmosferycznego staje się coraz większą [46]). W pewnej wreszcie wysokości przekraczamy granicę, powyżej której śnieg leży przez cały rok (wieczny śnieg), gdyż ciepło słoneczne nie wystarcza do jego stopienia. Tę granicę nazywamy linią wiecznego śniegu.

Wysokość, w której położona jest linia wiecznego śniegu, zależy od warunków klimatycznych. Im bliżej okolic podbiegunowych, tem niżej schodzi granica, powyżej której śnieg nigdy nie topnieje. Obok szerokości geograficznej także ilość opadów wpływa na położenie linii wiecznego śniegu. W okolicach wilgotnych natrafiamy na nią niżej, aniżeli w uboższych w opady. Tak samo, im bardziej oddalamy się od brzegu morza w głąb lądu, tem wyżej natrafiamy na granicę wiecznego śniegu. Oto kilka dat co do wysokości linii wiecznego śniegu:

Południowa Islandya	600 m
Alaszka	800 »
Alpy szwajcarskie	2750 »



Szczeliny w lodowcu Gepatsch w Alpach Oetzthalskich.
(Według zdjęcia fotograficznego zakładu Würthlego w Salcburgu.)

Sierra Nevada (Hiszpania)	3100	m
Tian-Szan	3750	»
Ararat	4300	»
Tybet	5500—6000	»

Śnieg, który pada na wysokich górach, nie może utrzymać się długo na nagich, stromych stokach, ale na dwóch drogach (lawiny i lodowce) dostaje się w doliny. Albo od czasu do czasu usuwa się nagle i zmieszany z okruchami skał jako lawina stacza się z przerażającą szybkością w doliny, niszcząc wszystko po drodze — albo też zbiera się w wysoko położonych, obszernych zagłębieniach, które mają kształt kotłowaty i są dokoła otoczone wieńcem szczytów. Tutaj śnieg nagromadza się do coraz większej wysokości i pokrywa całe zagłębienie, a tylko tu i owdzie sterczą obnażone szczyty wysokich skał, jakby wyspy ponad powierzchnią śniegu. Są to t. zw. śnieżne pola (Firnfelder), w których powstają lodowce i zwolna zsuwają się w doliny. Podczas pory letniej śnieg, nagromadzony w takich wysoko położonych zagłębieniach, w dzień stapia się pod wpływem promieni słonecznych, a w nocy znów zamarza i wskutek tej ciągłej zmiany w stanie skupienia zamienia się w ziarnistą masę, podobną do krup (Firn). Znaczna grubość nagromadzonego śniegu sprawia, że warstwy wyższe wywierają silny nacisk na głębsze. Pod wpływem tego ciśnienia krupy w warstwach niższych zbijają się w lód, którego strumienie zesuwają się w doliny, wychodzące z pola śnieżnego, i w ten sposób dają początek lodowcom.

Cząsteczki lodu przesuwają się i zmieniają swe wzajemne położenie. Dzięki temu lodowce — tak samo jak strumień wody bieżącej — spływają po pochyłości dolin, ale o wiele powolniej. Tak np. lodowce alpejskie posuwają się z średnią chyżością, wynoszącą 0,1—0,4 m na dobę. W lecie szybkość zwiększa się i u niektórych lodowców dochodzi nawet do 1 m na dobę. Tę własność, że może płynąć jak woda, lód zachowuje tylko do pewnej granicy. Gdy nachylenie doliny, którą się posuwa, stanie się zbyt stromem, lodowiec pęka, a głębokie szczeliny rozluźniają go w stosy brył lodu. Podobnie tworzą się pęknięcia w lodowcach wskutek tego, że jego brzegi ocierają się o skaliste ściany doliny i poruszają powolniej, aniżeli środek. Gdy jednak nachylenie łożyska stanie się znowu łagodniejszem, szczeliny szybko się zabliźniają i lodowiec przedstawia jednolitą masę lodu. Przyczyną takiego zrastania się brył lodu w jedną całość jest zjawisko, znane pod nazwą regelacyi. Lód może topnieć nawet przy temperaturze, niższej od punktu zerowego, jeżeli tylko poddamy go większemu ciśnieniu. Skoro jednak ciśnienie wróci znowu do stanu normalnego, woda, wypełniająca szczeliny, napowrót krzepnie i spaja luźne bryły. Na tem polega bardzo prosty eksperyment, że w temperaturze poniżej 0° dwa kawałki lodu zlepiają się, gdy je do siebie przyciśniemy.

Lodowce są bardzo ważnym czynnikiem transportowym, który zabiera



Brama lodowca Karlinger w Alpach z wytryskującym strumieniem.
(Według zdjęcia Forstera z Geograficznego Instytutu Uniwersytetu we Wiedniu).

z wysokich gór i osadza w dolinach szczątki skał najrozmaitszej wielkości, od wielkich głazów aż do najdrobniejszego, na miał roztartego materyału. Zwały okruchów skał, nagromadzone przez lodowce, nazywamy morenami. Z nagich. stromych stoków górskich bezustannie staczają się na powierzchnię lodowca okruchy skał i układają się po obu jego bokach w długie wały, zwane morenami bocznemi. Jeżeli u zejścia się dolin dwa lodowce zlewają się w jeden, to i dwie sąsiednie moreny boczne łączą się w jedną środkową. Gdy lodowiec powstał z połączenia kilku mniejszych, w takim razie na jego powierzchni będzie się ciągnąć tyleż moren środkowych. Głazy, zalegające powierzchnię lodowca, chronią lód przed stopnieniem. Pod wpływem promieni słonecznych lód dokoła każdej bryły prędzej topnieje, aniżeli pod nią i z czasem każda bryła sterczy ponad powierzchnią lodowca, podparta słupem z lodu (t. z. »stoły lodowcowe«). Moreny na powierzchni lodowca, a więc brzeżne i środkowe, składają się z kańczastych, nieogładzonych okruchów skał. Natomiast szczątki skał. które są toczone pod lodowcem i tworzą morenę gruntową, wskutek wzajemnego ocierania się podczas transportu ulegają pokruszeniu i roztarciu. Morena gruntowa przedstawia masę piaszczystą lub ilastą, wśród której rozsiane są tu i owdzie większe bryły, otoczone i porysowane. Przy pomocy okruchów skał, toczonych w morenie gruntowej, lodowiec niszczy skaliste dno doliny, po którem się posuwa, wygładza je i rysuje.

Lodowce posuwają się dolinami w okolice coraz niższe i cieplejsze. aż wreszcie topnienie pod wpływem ciepła słonecznego kładzie kres dalszemu ruchowi. Lodowiec kończy się i wysyła z głębokiej szczeliny (t. zw. »brama lodowcowa«) strumień wody. Koniec lodowca nie utrzymuje się stale w tem samem miejscu, ale przesuwa się pod wpływem czynników klimatycznych. W latach wilgotniejszych zstępuje niżej, w mniej zaś wilgotnych cofa się w górę. Gdzie lodowiec kończy się wskutek topnienia, tam musi osadzać wszystkie szczątki skał, które zabierał po drodze jako moreny. Część okruchów skał unosi strumień, wytryskujący z lodowca, a reszta osadza się wzdłuż krawędzi lodowej. W ten sposób w miejscu, gdzie koniec lodowca dłużej się zatrzymał, pozostają wały, zwane morenami krańcowemi, które są zbudowane z okruchów skał rozmaitej wielkości i półkolem otaczają krawędź topniejącego lodowca.

W okolicach cieplejszych lodowce są ograniczone jedynie do wysokich gór i tu wypełniają doliny długimi językami lodu. Inaczej ma się rzecz w krainach podbiegunowych. Tam nieprzejrzane obszary są pokryte jednostajną, bardzo grubą skorupą lodową (lody śródlądowe). Dzięki wyprawom Nansena (1888), Peary'ego (1892) i Drygalskiego (1891—93) najlepiej poznano lody śródlądowe w Grenlandyi, gdzie pokrywają bez przerwy obszar około 2 mil. km². Cała Grenlandya z małymi wyjątkami jest pokryta grubą skorupą lodów śródlądowych, która ma kształt płaskiej tarczy. W głębi kraju wznosi się najwyżej, a stąd ku brzegom stopniowo opada. Nansen, posuwając się od poziomu morza przy zachodnich brzegach Grenlandyi, stwierdził, że na przestrzeni

270 km w głąb lądu powierzchnia lodów podnosi się do wysokości 2718 m. Dzięki temu, że grubość pokrywy lodowej jest w głębi lądu największą, lody posuwają się od środka Grenlandyi we wszystkich kierunkach ku wybrzeżom morskim i to z szybkością, o wiele większą aniżeli lodowce, bo wynoszącą 20—30 m dziennie. Śródlądowe lody — tak samo jak lodowce — rysują, kruszą i rozcierają skały, po których się posuwają. Ogromna różnica, jaka zachodzi w grubości pokrywy lodowej między wybrzeżem a wnętrzem kraju, sprawia, że lody śródlądowe mogą się posuwać nie tylko po równej powierzchni, ale także pod górę. W głębi lądu pokrywa lodowa zaciera i wyrównywa rzeźbę powierzchni ziemi, pod nią ukrytej. Żadna skała nie sterczy ponad gładką powierzchnią lodów, toteż nie widać na niej jakichkolwiek okruchów skał. Cały materyał, transportowany przez lody śródlądowe, ogranicza się wyłącznie do



Widok z Nasausak (Zachodnia Grenlandya; 64 $^{1}/_{2}{}^{0}$ półn. szer., 49^{0} zach. dług.) ku wschodowi: Lody śródlądowe z nunatakami, sterczącymi ponad ich powierzchnią. (Według A .Kornerupa.)

moreny gruntowej, toczonej pod skorupą lodową. Dopiero w blizkości wybrzeży gdzie lody stają się znacznie cieńszymi, tu i owdzie sterczą z pod nich szczyty skał, zwane nunatakami. Zarazem pojawiają się głębokie szczeliny, których brak zupełnie w głębi lądu. U brzegów morskich skorupa lodowa wysyła w morze potężne języki lodu, które rozpadają się w olbrzymie bryły, a te z prądami morskimi płyną jako góry lodowe daleko w okolice cieplejsze.

Według obliczenia Pencka, lody obecnie pokrywają na półkuli północnej około 2$^{1}/_{4}$, a na południowej około 14 mil. km^{2} lądu.

W ubiegłych okresach geologicznych obszary, zajęte na powierzchni ziemi przez lodowce i lody śródlądowe, nie były stałymi. Mamy wyraźne ślady, że w ciągu historyi ziemi lody nieraz pod wpływem zmian klimatu rozszerzały się i pokrywały nawet całe kontynenty, a po jakimś czasie ustępowały i ścieśniały się do małego stosunkowo obszaru. Takie okresy, podczas których lody

zajmowały ogromne obszary, gdzie ich nie było ani przedtem ani później, nazywamy epokami lodowemi. Z dawniejszych najlepiej znaną jest epoka lodowa na granicy okresu węglowego i permskiego, która objęła przeważną część półkuli południowej i sięgała aż po Azyę. Wówczas istniał na półkuli południowej ogromny kontynent, zwany Gondwana, który dopiero podczas młodszych okresów geologicznych popękał i zapadł się, a jego miejsce zajął Ocean Indyjski. We wszystkich krajach, które niegdyś były częściami owego lądu, a dziś są jego szczątkami, jak w Australii, w Indyach Wschodnich, w południowej Afryce i w Brazylii, pojawiają się ślady epoki lodowej jako pokłady



Szczeliny na powierzchni lodów śródlądowych w południowej Grenlandyi.
(Według A. Kornerupa.)

zlepieńców między utworami węglowymi i permskimi. Te zlepieńce składają się z brył i żwirów różnej wielkości, przedstawiających okruchy najrozmaitszych rodzajów skał. Wszystkie bryły, bezładnie rozrzucone wśród masy piaszczystej lub ilastej, są otoczone, zaokrąglone i porysowane, a to najlepiej świadczy, że zostały z daleka przyniesione i osadzone przez posuwające się lody śródlądowe. Także na powierzchni pokładów, na których spoczywają owe zlepieńce, spostrzeżono działanie posuwających się lodów, a mianowicie wygładzenie i porysowanie. Zmianie klimatu uległ świat roślinny okresu węglowego. Znikają rośliny jemu właściwe, a na ich miejsce pojawiają się nowe, których główny rozwój przypada na okresy późniejsze.

Być może, że w ciągu historyi ziemi epoki lodowe niejednokrotnie się

pojawiały i obejmowały rozmaite części kuli ziemskiej. Ale wykrycie i poznanie dawniejszych epok lodowych nie jest rzeczą łatwą. Utwory, które powstały niegdyś pod wpływem lodów śródlądowych, przez cały szereg okresów geologicznych były wystawione na działanie rozmaitych czynników i wskutek tego mogły uledz tak znacznym przemianom, iż dziś niepodobna dopatrzeć się w nich śladów epok lodowych. Dlategoto najlepiej zbadano i poznano ślady dyluwialnej epoki lodowej. Epoka ta bezpośrednio poprzedziła obecną, a więc nie upłynęło jeszcze dość czasu, aby utwory, które powstały wówczas pod działaniem lodów śródlądowych i pokrywają powierzchnię niektórych krajów — mogły być zniszczone przez czynniki atmosferyczne lub pokryte przez inne osady.

Na epokę dyluwialną przypada ogromne rozszerzenie się obszarów, zajmowanych na powierzchni ziemi przez lodowce i lody śródlądowe. Wysokie góry, jak np. Alpy, wysyłały bez porównania potężniejsze lodowce, aniżeli obecnie. Z dalekiej północy, z okolic podbiegunowych lody śródlądowe poczęły zsuwać się ku południowi, rozszerzały się na coraz większej przestrzeni i sięgnęły w Europie środkowej aż po podnóża Sudetów i Karpat, w Ameryce Północnej aż po 38° północnej szerokości. Z tego, że lody północne u swego południowego kresu, jak np. w Sudetach, sięgały do wysokości 400—500 m, można sobie wyobrazić, jak grubą była skorupa lodowa, która wówczas pokrywała północną Europę. Posuwające się lody śródlądowe, na tysiące m grube, musiały sprowadzić ogromne zmiany na powierzchni lądów. Gdzie natrafiały na skały mniej zwięzłe, wyginały je i łamały, kruszyły i zabierały ich roztarte szczątki jako morenę gruntową. Gdzie natomiast posuwały się po skałach twardych, wygładzały je i rysowały przy pomocy moreny gruntowej. Po ustąpieniu lodów skały twarde sterczą obnażone i zaokrąglone, tworząc garby, od strony nadciągających lodów lekko nachylone, wygładzone i porysowane, a po przeciwnej stronie stromo opadające (Rundhöcker, roches moutonnées). Z przebiegu rysów można odczytać kierunek, w którym posuwały się lody i toczyły morenę gruntową.

Okolice, pokryte niegdyś lodami, odznaczają się tą właściwością, że ich powierzchnia jest zasiana dużemi bryłami rozmaitych skał, które nie znajdują się nigdzie w pobliżu, ale nieraz dopiero w bardzo wielkiej odległości. Takie głazy nazywamy narzutowymi czyli błędnymi (erratycznymi). Od dawna już wiedziano, że błędne głazy, którymi zasiany jest niż niemiecki, pochodzą ze skał skandynawskich i sądzono zrazu, że niż w epoce dyluwialnej był pokryty morzem, po którem płynęły z północy góry lodowe i rozrzucały odłamy zupełnie obcych skał (»hipoteza dryftowa« Lyella). Później Otto Torell (1875) postawił powszechnie dziś przyjętą teoryę, że niż niemiecki zawdzięcza dzisiejsze ukształtowanie swej powierzchni działaniu lodów śródlądowych, które sunęły się po nim z dalekiej północy podczas epoki dyluwialnej. Do wystąpienia z takim poglądem skłoniły Torella bardzo ciekawe zjawiska, na które natrafiono podczas robót w kamieniołomach w Rüdersdorf koło Berlina. Po usunięciu pokrywy osadów, nagromadzonych przez lody, ukazały się nachylone

warstwy wapieni tryasowych, które zostały ścięte przez posuwające się lody. Na równej i wygładzonej powierzchni skał Torell znalazł liczne rysy, wyrzeźbione przez morenę gruntową sunących się lodów. Obok tego na powierzchni wapieni znaleziono kotłowate wydrążenia o ścianach pionowych, do 2 m głębokie, które zostały wyżłobione przez wody, spadające gwałtownie z powierzchni w głębokie, aż do skalistego podłoża sięgające szczeliny lodów śródlądowych. Na dnie tych zagłębień, zwanych »kotłami olbrzymów« (Riesenkessel), leżały otoczone okruchy skał północnego pochodzenia, przy których pomocy



Kocioł lodowcowy w Rüdersdorf koło Berlina, odsłonięty na powierzchni wapienia muszlowego po usunięciu grubego pokładu utworów glacyalnych. (Według A. Remelégo.)

zostały wydrążone przez wodę. Wobec tych spostrzeżeń, stwierdzających niewątpliwie bezpośrednie działanie lodów na skaliste podłoże, dawniejsze przypuszczenie o górach lodowych musiało upaść i ustąpić miejsca nowemu, trafnemu poglądowi Torella.

Lody śródlądowe, które w epoce dyluwialnej zalegały północną Europę, staczały się z wyżyn Skandynawii, gdzie grubą skorupą pokrywały nawet najwyższe szczyty — i zabierały w morenie gruntowej masy okruchów tamtejszych skał. Szczątki skał północnych w utworach, naniesionych przez lody (glacyalnych), składają się ze skał wybuchowych, krystalicznych i najstarszych

osadowych (granity, gnajsy, kwarcyty i t. p.). Po drodze natrafiały lody na utwory młodsze, zbudowane z mniej zwięzłych skał osadowych, kruszyły je i ich szczątkami wzbogacały morenę gruntową. Ku południowi lody topniały, stawały się coraz cieńszymi i zasypywały niż niemiecki osadami, których grubość wynosi przeciętnie 50 m, ale miejscami dochodzi nawet do 200 m. Ponad powierzchnią lodów nie sterczała żadna większa skała, to też utwory glacyalne w północnej Europie tworzyły się wyłącznie z materyału, toczonego pod lodami lub przenikającego ich najgłębsze warstwy, słowem z moreny gruntowej. Okruchy, z których składają się potężne zwały utworów glacyalnych, przedstawiają mieszaninę najrozmaitszych skał, pochodzących z bliższych lub dalszych okolic. Można w nich znaleźć szczątki tych wszystkich utworów, na jakie tylko lody natrafiły na powierzchni ziemi podczas długiej wędrówki z północy.

Powierzchnię niżu niemieckiego zajmują utwory glacyalne, składające się z okruchów skalnych, które lody śródlądowe toczyły z północy jako morenę gruntową i osadzały podczas topnienia. Najbardziej rozpowszechnionym osadem lodów z epoki dyluwialnej są zwały nieuwarstwowanej gliny (Geschiebelehm, Blocklehm), przepełnionej żwirami, wśród których trafiają się nawet bardzo duże, otoczone i porysowane bryły. Głębsze pokłady tej gliny zawierają znaczną ilość węglanu wapniowego (przeciętnie 10—12%), który z wyższych, bliższych powierzchni partyi został wyługowany przez wody atmosferyczne Zawartość węglanu wapniowego pochodzi ze skał wapiennych (np. kreda bałtycka), które stanęły w drodze lodom śródlądowym i zostały pod ich naciskiem roztarte.

Nagromadzenia glin lodowcowych na niżu niemieckim nadają krajobrazowi bardzo charakterystyczny wygląd. Raz okolica jest płaską lub lekko falistą, gdzieindziej znowu staje się bardzo nierówną; pomiędzy bezładnie rozrzuconemi wzgórzami znajdują się zagłębienia, w których mieszczą się jeziora lub pozostałe po nich bagna. Czasem pagórki są ugrupowane w długie szeregi, które ciągną się w kierunku, w którym niegdyś posuwały się lody (»drumliny«). Nazwa »świat garbaty (bucklige Welt)« najlepiej oddaje nierówny, pagórkowaty krajobraz glin lodowcowych na niżu niemieckim.

Gdy lody zajęły największy obszar i pokryły całą północną Europę, południowy brzeg ich opierał się o Sudety i Karpaty. Poczem nastąpił odwrót lodów ku północy. Ale tego cofania się lodów ku północy nie należy tak pojmować, jak gdyby rozpoczęły ruch w kierunku przeciwnym, aniżeli poprzednio. Wskutek zmiany klimatu na cieplejszy, a zarazem wskutek zmniejszenia się ilości opadów, zasilających lody — coraz więcej lodów topniało, a napływ świeżych mas z północy nie mógł wyrównać straty, ponoszonej przez topnienie. Wskutek tego południowa krawędź skorupy lodowej zaczęła się przesuwać coraz dalej ku północy. Brzeg lodów nie posuwał się jednostajnie, ale etapami; raz przesuwał się prędzej, to znowu zatrzymywał się dłużej w tem samem miejscu. Tam, gdzie krawędź lodów przez dłuższy czas się zatrzymała, osadzały

się wzdłuż niej potężne wały moren krańcowych (Endmoränen), łukowato ku południowi wygięte. Po ich wewnętrznej stronie często znajdują się zatamowane jeziora. Najlepiej zachował się pas moren krańcowych, zwany bałtyckim, który ciągnie się niemal bez przerwy na przestrzeni 1000 km, od północnej granicy Szlezwiku przez cały niż niemiecki aż po Wisłę. Grzbiet tego pasu moren krańcowych osiąga koło Gdańska największą wysokość (331 m).



Sieć rzeczna niżu niemieckiego w epoce dyluwialnej.
(Według Keilhacka i Wahnschaffego.)

Podczas cofania się lodów ku północy tworzyły się osady z materyału, naniesionego przez lody, ale przerobionego pod działaniem wody, której dostarczało ich topnienie (utwory fluwio-glacyalne). Wody, spływające z brzegu lodów, zabierały materyał z moren krańcowych i na południu od nich osadzały grube warstwy iłów, piasków i żwirów.

Utworem fluwio-glacyalnym, powstałym podczas odwrotu lodów, są t. zw. »asary«. Nazwę tę nadano długim wałom, zbudowanym z wyraźnie uwarstwowanych piasków i żwirów. Asary ciągną się zawsze w kierunku stałym, zgo-

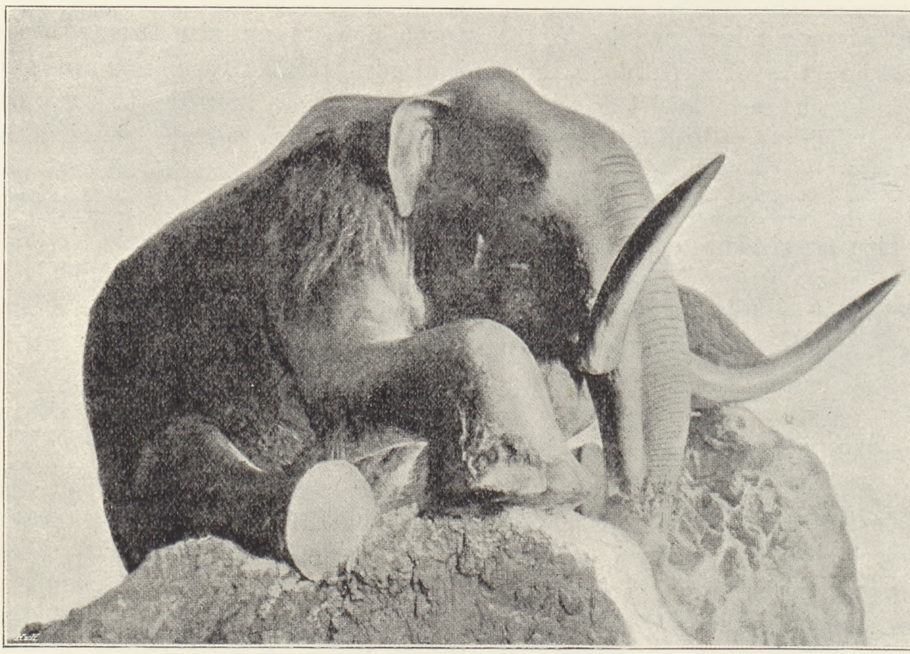
dnym z tym, w jakim posuwały się lody z północy, i są osadem wód, które krążyły w szczelinach pod skorupą lodową.

Skoro północna część Europy była zajęta przez grubą pokrywę lodową, nasuwa się pytanie, co działo się w epoce dyluwialnej z rzekami, które dziś uchodzą do Bałtyku. Bliższe zbadanie utworów dyluwialnych wykryło drogi, po których niegdyś strumienie wody odpływały z niżu niemieckiego. Podczas odwrotu ku północy krawędź lodów kilka razy zatrzymała się przez dłuższy czas w tem samem miejscu. Wody, spływające z topniejących lodów, nie mogły odpływać ani ku północy, ani ku południowi. Tam zagradzały im drogę lody, tutaj wały moren krańcowych, które zostały poprzednio osadzone. Musiały zatem szukać sobie drogi ku zachodowi, wzdłuż krawędzi lodów i pasów moren krańcowych. W ten sposób powstał na niżu szereg bardzo szerokich, równoległych dolin, któremi niegdyś płynęły strumienie wody, od wschodu ku zachodowi i miejscami rozlewały się w szerokie jeziora. Dziś dawne doliny przedstawiają się jako rozległe równiny, pokryte piaskiem lub żwirami; po części są bezwodne, albo też służą za koryta obecnej sieci rzecznej. Każda z pięciu wielkich dolin dyluwialnych, które dotąd znaleziono na niżu niemieckim, odpowiada jednemu okresowi zastoju w cofaniu się lodów ku północy. Doliny dyluwialne na niżu niemieckim powstawały kolejno jedna po drugiej; najstarszą z nich jest najbardziej na południe wysunięta, a posuwając się ku północy, natrafiamy na coraz młodsze.

W czasie swego największego rozprzestrzenienia lody pokryły północną część naszego kraju, przynosiły w morenie gruntowej szczątki skał skandynawskich i północno-europejskich i mieszały je z okruchami utworów miejscowych. W zachodniej Galicyi lody oparły się o północny brzeg Karpat. Pod działaniem lodów i wód, pochodzących z ich topnienia, tworzyły się u brzegu karpackiego zwały »żwirów mieszanych«, które składają się przeważnie z kańczastych, miejscowych okruchów skał karpackich. Wśród nich znajdują się często okruchy skał północnego pochodzenia, zaokrąglone i otoczone podczas dalekiego transportu w morenie gruntowej. We wschodniej Galicyi lody zatrzymały się w pobliżu północnej krawędzi wyżyny podolskiej.

Podczas gdy północną, nizką część naszego kraju zajęły lody północne, Tatry były źródłem własnych lodowców. W zachodniej, niższej części Tatr lodowce były niewielkie i trzymały się głębi dolin, natomiast we wschodniej najwyższe szczyty stały się ogniskiem, z którego wychodziły okazałe lodowce i zsuwały się w równiny u stóp Tatr. Z najwyższych szczytów ku północnemu brzegowi Tatr lodowce musiały przebywać daleką drogę wzdłuż dolin i wskutek tego traciły wiele przez topnienie pod wpływem ciepła słonecznego. To też po północnej stronie tylko w czterech dolinach (Jaworzynka, Białka, Pańszczyca i Suchawoda) lodowce osiągnęły brzeg Tatr, rozszerzyły się wachlarzowato u wylotu dolin i osadziły moreny krańcowe, które później w przeważnej części zostały zniszczone przez bieżącą wodę. Tymczasem u południowego podnóża

Tatr, gdzie wysokie szczyty znajdują się blizko brzegu, lodowce w krótkim biegu przez doliny bardzo mało traciły wskutek topnienia i wysuwały się z dolin daleko w nizinę Spiską. Po wyjściu z dolin zlewały się w jednolitą masę, która olbrzymim wałem lodu otaczała podnóża Tatr, podobnie jak dyluwialne lodowce w Alpach lub dzisiejsze w Alaszce. Po owym pierścieniu lodowym pozostał wzdłuż południowej krawędzi Tatr wał żwirów, który ciągnie się potężnym łukiem od stóp Krywania aż po dolinę Białej. Wał ten, który miejscami dochodzi do $4\frac{1}{2}$ km szerokości, sterczy z pośród niziny Spiskiej na 80—150 m wysokości i składa się z kańczastych lub zaokrąglonych brył,



Mamut, znaleziony w r. 1901 nad rzeką Berezowką ($67\frac{1}{2}^0$ półn. szer.) w gubernii Jakuckiej.

bezładnie rozrzuconych wśród piasku lub gliny. Dzisiejsze potoki wcięły w nim swe parowy, na 40—60 m głębokie. Na południe od tego wału strumienie wody, które niegdyś spływały z topniejących lodów, osadziły warstwy piasków i żwirów.

Jeziora tatrzańskie są dziełem dyluwialnych lodowców. W dolinach, gdzie brak ich śladów, daremnie szukalibyśmy jezior. Jedne jeziora wypełniają kotłowate zagłębienia w skałach (t. zw. »Kare«), wydrążone przez lodowce — inne znowu powstały tam, gdzie morena utworzyła w dolinie poprzeczną zaporę i zatamowała wodę bieżącą.

Oprócz Tatr znane są jeszcze skąpe ślady dyluwialnych lodowców na Czarnej Horze. Zresztą północny stok Karpat nie miał własnych lodowców w epoce dyluwialnej.

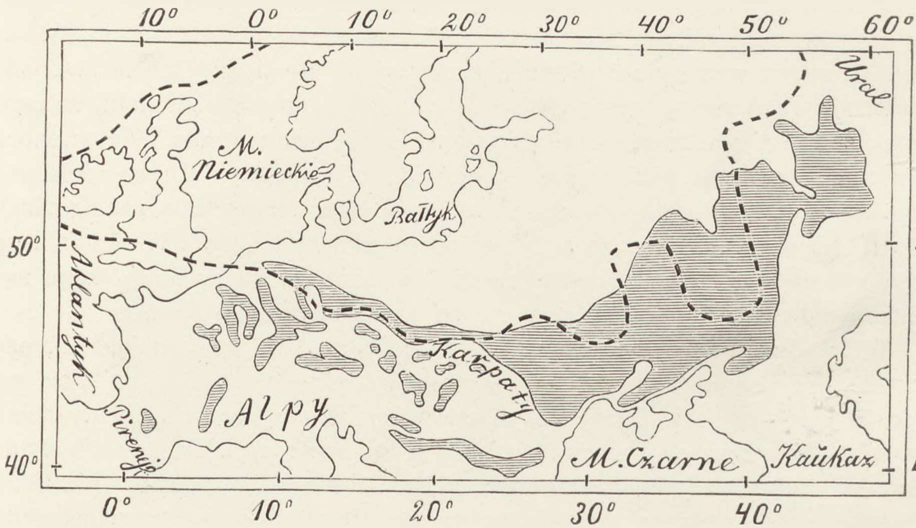
Epoka lodowa odznaczała się odrębną fauną. Najważniejszym jej przedstawicielem jest mamut (Elephas primigenius), rodzaj słonia, ale odznaczający się tem, że był porośnięty długim włosem i dzięki temu mógł znosić ostry klimat w blizkości lodów. Wówczas żyły w Syberyi tak liczne stada mamutów, iż obecnie wydobywają tam z ziemi kość słoniową, pochodzącą z mamutów epoki dyluwialnej. W wiecznie zamarzniętej ziemi syberyjskiej znaleziono także szkielety mamutów doskonale zachowane, z ciałem, a nawet skórą i włosami. Pierwszego takiego mamuta znaleziono w r. 1799 u ujścia Leny, a odtąd nieraz natrafiano na resztki ciał mamutów, nosorożców i żubrów. W r. 1901 znowu wydobyto z wiecznie zamarzniętej ziemi w północno-wschodniej Syberyi (nad rzeką Berezowką) całkowicie zachowanego mamuta, którego żołądek zawierał niestrawione resztki pokarmu. Obok mamuta żyły w epoce dyluwialnej nosorożce (Rhinoceros), niedźwiedzie jaskiniowe (Ursus spelaeus), jelenie (Cervus megaceros), łosie (C. alces), renifery, tury (Bos primigenius), żubry (B. priscus), bawoły, hyeny (Hyaena spelaea), wilki i i. Wśród takiego świata zwierzęcego, wśród bardzo ciężkich warunków, bo w niedalekiem sąsiedztwie północnych lodów, ukazał się na ziemi pierwszy człowiek.

W młodszej epoce dyluwialnej zaszła nowa zmiana w warunkach klimatycznych. Na południe od obszaru, zajętego niegdyś przez lody, a także na utworach glacyalnych w Europie środkowej znajdujemy wyraźne ślady działania wiatrów w klimacie suchym, pustynnym lub stepowym. Na stepach dyluwialnych z pyłu, osadzanego przez wiatry, tworzyły się potężne zwały bardzo drobnej, nieuwarstwowanej gliny, która niczem nie różni się od nawianej gliny (loess) w Chinach. W pokładach loessu często znajdują się resztki zwierząt lądowych, które zaludniały stepy w epoce dyluwialnej. Obok skorup ślimaków pojawiają się kości ssaków, które żyją wyłącznie w okolicach stepowych, jak gryzoni, antylop (saiga), dzikich koni i t. p.

Z czasem klimat stepowy ustąpił, a jego miejsce zajął obecny, wilgotny. W wielu miejscach loess dyluwialny uległ silnej przemianie pod wpływem wody i stracił swój pierwotny charakter. Ale niektóre ze stepów dyluwialnych zachowały się po dziś dzień, jak np. stepy czarnomorskie lub prerye w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej.

W jaki sposób możemy sobie wytłómaczyć tę zmianę warunków klimatycznych, jaka zaszła z końcem epoki dyluwialnej? Jak dziś w okolicach podbiegunowych, prawdopodobnie tak samo podczas epoki dyluwialnej nad wnętrzem północno-europejskiej pokrywy lodowej znajdował się ogromny obszar wysokiego ciśnienia powietrza (antycyklon), który dokoła wysyłał silne wiatry, daleko poza granice lodów. Grubość skorupy lodowej wynosiła w środku tysiące metrów, a wskutek tego wiatry przy obniżaniu się musiały się ogrzewać i osu-

szać, podobnie jak t. zw. »Föhn« [47]). Podczas posuwania się lub zatrzymywania lodów działanie owych wiatrów znikało wobec przewagi lodów i wód, z ich stopnienia powstałych. Natomiast podczas cofania się lodów wiatry wzięły górę nad innymi czynnikami i pod ich wpływem na utworach, osadzonych przez lody, a następnie odsłoniętych z pod ich pokrywy, zapanował klimat pustynny. W miarę ustępowania lodów niż północno-europejski stawał się pustynią, w której wiatr przerabiał utwory glacyalne, przenosił najdrobniejszy materyał i przy jego pomocy nadawał okruchom skał północnych kształt trójkańczasty. Wspomnieniem tej pustynnej doby są wydmy i piaski lotne, które w wielu miejscach niżu dotąd nie zostały utrwalone przez roślinność. Wzdłuż południo-



Obszar loessu.

Granica lodów śródlądowych w epoce dyluwialnej w czasie największego rozprzestrzenienia.

Rozmieszczenie loessu w Europie. (Według J. Geikiego.)

wego brzegu obszaru, zajętego przedtem przez lody, ciągnął się pas stepów, gdzie z pyłu, wywianego przez wiatr z niżu, tworzył się loess zupełnie tak samo, jak dziś w Chinach lub w Turkestanie.

W najrozmaitszych zjawiskach szukano przyczyny zmian klimatu, które sprowadzały rozszerzanie się lodów podczas epok lodowych. Z mnóstwa hipotez, które starają się wyjaśnić przyczynę obniżania się temperatury w czasie epok lodowych, najbardziej prawdopodobnym jest pogląd Sv. Arrheniusa. Hipoteza, z którą ten uczony wystąpił przed kilku laty, tłumaczy przyczynę epok lodowych w sposób następujący:

Wśród gazów, wchodzących w skład atmosfery, znajduje się w bardzo

małej ilości bezwodnik węglowy (dwutlenek węgla) [48]), połączenie tlenu z węglem. Jego obecność w powietrzu ma ogromny wpływ na temperaturę powierzchni ziemi. Jak szyby szklane w cieplarni, tak samo bezwodnik węglowy atmosfery zatrzymuje promienie cieplne, wysyłane przez słońce, a odbite od powierzchni ziemi — i w ten sposób w znacznej mierze przyczynia się do podniesienia temperatury powierzchni ziemi. Jeżeliby zawartość bezwodnika węglowego w atmosferze zwiększyła się, mielibyśmy klimat cieplejszy, niż obecny, natomiast zmniejszenie się dzisiejszej ilości tego gazu pociągnęłoby za sobą oziębienie się klimatu. Ze ścisłych obliczeń Arrheniusa wypływa, że wpływ zmian w zawartości bezwodnika węglowego w atmosferze na temperaturę powierzchni ziemi jest najsilniejszy w okolicach podbiegunowych, a maleje w miarę zbliżania się ku równikowi. Zatem z oziębianiem się klimatu musiało iść w parze zaostrzanie się przeciwieństwa stref ciepłych i zimnych. A naodwrót zwiększanie się ilości bezwodnika węglowego w atmosferze nie tylko sprowadzało klimat cieplejszy, ale zarazem czyniło go jednostajniejszym na całej ziemi i zacierało różnice stref klimatycznych.

Z jednostajnego rozmieszczenia organizmów paleozoicznych można wnosić, że aż po koniec okresu karbońskiego panował ciepły, jednostajny klimat na całej ziemi. Potem nastąpiło rozszerzenie się lodów śródlądowych, które głównie objęło południową półkulę. Z początkiem ery mezozoicznej znowu nastał ciepły, jednostajny klimat na całej ziemi, a dopiero po raz pierwszy w okresie jurajskim zarysowuje się wyraźnie przeciwieństwo stref klimatycznych.

Okolice, wysunięte daleko ku północy, posiadały podczas okresu trzeciorzędnego klimat cieplejszy, w czasie zaś epoki dyluwialnej zimniejszy od obecnego. W pierwszym wypadku — jak sądzą geologowie — średnia roczna temperatura musiała być o 8—9° C wyższą, w drugim o 4—5° C niższą w porównaniu z obecną. Do sprowadzenia takich zmian stosunków klimatycznych potrzebną była według obliczeń Arrheniusa zawartość bezwodnika węglowego w atmosferze $2^1/_2$ do 3 razy większa, względnie 0·62—0·55 mniejsza od teraźniejszej, a więc zmiany tak niewielkie, że mogły przeminąć bez wpływu na świat organiczny.

Obecność pary wodnej w atmosferze ma taki sam wpływ, co i bezwodnik węglowy. Ale zmiany w zawartości pary wodnej w atmosferze same przez się nie mogłyby jeszcze wywołać zmian klimatu, gdyż ilość pary wodnej, która może się pomieścić w atmosferze, jest ściśle określoną dla każdej temperatury, a nadmiar musi się zaraz skraplać jako opad. Dopiero w następstwie zmian ilości bezwodnika węglowego, zawartej w atmosferze, występuje działanie pary wodnej. Gdy wskutek powiększenia się zawartości bezwodnika węglowego klimat stanie się cieplejszym, wówczas i więcej pary wodnej może się pomieścić w atmosferze, to zaś potęguje podniesienie się temperatury na powierzchni ziemi. Naodwrót przy zmianie klimatu na zimniejszy ubywa pary wodnej w atmosferze, a przez ten ubytek oziębianie się zaostrza.

Pytanie teraz, czy mamy podstawę przypuszczać, że w ciągu historyi ziemi ilość dwutlenku węgla w powietrzu ulegała takim zmianom. Wyziewy wulkaniczne dostarczały atmosferze ciągle nowych zapasów tego składnika, zabierało go zaś z powietrza tworzenie się pokładów wapieni i węgli kopalnych przy pomocy świata organicznego. Te procesy geologiczne nie zawsze odbywały się w takich samych rozmiarach. W jednych okresach geologicznych zjawiska wulkaniczne występowały ze spotęgowaną siłą, w innych słabły i chwilowo zamierały. Tak samo rozległe pokłady węgla są przywiązane do utworów z niektórych tylko okresów, przedewszystkiem do systemu karbońskiego. Skoro zatem w przeszłości ziemi ilość bezwodnika węglowego, dostarczanego atmosferze lub z niej zabieranego, była zmienną, to nic dziwnego, że i zawartość tego składnika w powietrzu nie zawsze była jednakową, ale raz wzrastała, to znowu malała.

Z innych zjawisk, przy pomocy których próbowano wyjaśnić przyczynę epok lodowych, zasługują jeszcze na uwagę zmiany w stosunku ziemi do słońca i w ilości ciepła od niego otrzymanego, a mianowicie zmiany w

a) położeniu osi ziemskiej (precessya),

b) nachyleniu osi ziemskiej do ekliptyki,

c) ekscentryczności drogi ziemskiej [49]).

Wszystkie te zmiany muszą wprawdzie do pewnego stopnia wpływać na temperaturę powierzchni ziemi [50]) (zwłaszcza gdy zdarzy się taki zbieg okoliczności, że się wzajemnie potęgują) i sprowadzać zmiany klimatu w mniejszym rozmiarze, ale ich wynik nie wystarcza do wytłómaczenia takich przewrotów klimatycznych, jakimi były epoki lodowe.

Historya Skandynawii w najświeższej dobie geologicznej dostarcza przykładu zmiany klimatu, małej w porównaniu z rozprzestrzenieniem się lodów w epoce dyluwialnej, a spowodowanej prawdopodobnie zmianą w nachyleniu osi ziemskiej [51]). W Szwecyi znajdują się często orzechy, zachowane w torfowiskach, w takich okolicach, gdzie dziś leszczyna nie rośnie. Tak samo natrafiano w południowej Norwegii na pnie sosen w moczarach, daleko wyżej w górach położonych, aniżeli obecnie sięgają lasy sosnowe. Wynika stąd, że już po zupełnem ustąpieniu lodów dyluwialnych był czas, w którym klimat Skandynawii był łagodniejszym od dzisiejszego, w którym średnia roczna temperatura była o około 2^0 C wyższą aniżeli obecnie. Wówczas to leszczyna rosła na obszarze, prawie dwa razy razy większym niż dziś, a sosny sięgały w górach o 350—400 m powyżej dzisiejszej granicy. Wniosek, że klimat Skandynawii był w tym czasie cieplejszy, potwierdzają badania nad skorupami mięczaków, które znaleziono w fjordzie Chrystyanii, w najwyższych warstwach utworów przybrzeżnych, osadzonych po ustąpieniu lodów dyluwialnych.

Dotychczasowe rozpatrywania mogłyby wyjaśnić tylko obniżenie się temperatury podczas epok lodowych, ale nie dają żadnej odpowiedzi na pytanie, skąd wziął się tak ogromny zapas opadów atmosferycznych, które zasilały skorupę lodową, pokrywającą całe lądy warstwą, na tysiące metrów grubą.

A przecież epoki lodowe były wynikiem nie tylko samego obniżenia się temperatury, ale także zmiany klimatu na wilgotniejszy.

Przemiany, których widownią była i jest powierzchnia ziemi, mogą z biegiem czasu spowodować znaczne zmiany w stosunkach klimatycznych. Wypiętrzanie potężnych łańcuchów górskich i zapadanie się rozległych części skorupy ziemskiej, obniżanie lądów przez siły atmosferyczne i osadzanie się okruchów zwietrzałych skał u wybrzeży oceanów — wszystkie te zjawiska powodują z czasem przesuwanie się granicy między lądem stałym a morzem. A widzieliśmy przedtem, jak wielki jest wpływ odległości od oceanu na stosunki klimatyczne, a zwłaszcza na zapas wilgoci. Poznaliśmy już poprzednio, jak łańcuchy górskie osuszają wiatry i w najwyższych okolicach zapas wilgoci, odebrany prądom powietrza, zbierają jako wieczny śnieg i lodowce [52]. To też i wypiętrzanie potężnych łańcuchów górskich, dzięki czemu rozległe obszary zostają wzniesione powyżej granicy wiecznego śniegu i mogą stać się źródłem lodowców, nie jest obojętnem przy rozpatrywaniu przyczyny epok lodowych. A właśnie najwyższe góry, które w epoce dyluwialnej wysyłały lodowce (np. Alpy), powstały przeważnie podczas okresu trzeciorzędnego (zwłaszcza neogeńskiego), zatem w czasie, który bezpośrednio poprzedził epokę dyluwialną.

VIII.

W poprzedzających rozdziałach poznaliśmy czynniki, które zwolna a wytrwale pracują nad niszczeniem powierzchni lądów. Jedne skały zostają wyługowane przez wodę, inne znowu rozpadają się w gruz, a ten pokruszony materyał (detritus) ulega przenoszeniu na znaczną odległość i nagromadza się w zbiornikach wody, aby z czasem dać początek nowym skałom (akkumulacya). Podczas swej wędrówki z lądów do mórz owe szczątki skał, jak żwir lub piasek, ścierają podstawę, po której się posuwają i w ten sposób bezustannie niszczą nawet najtwardsze skały (korrazya). Najważniejszą drogą transportową są wody bieżące (erozya), ale obok nich mają także niemały udział w niszczeniu lądów wiatry (deflacya) i lody. U brzegów kontynentów wchodzi jeszcze w grę działanie wzburzonych fal morskich (abrazya). Pod wpływem tak różnorodnych czynników powierzchnia lądów stale się obniża, a proces ten nazywamy d e n u d a c y ą.

Gdyby czynniki denudacyjne mogły bez żadnej przeszkody rozwijać swą niszczącą działalność, to kiedyś musiałaby wreszcie przyjść chwila, w której lądy zostałyby zupełnie zniwelowane do poziomu morza i przedstawiałyby równą, prawie poziomą płaszczyznę. Ale czynnikom niszczącym, które są wynikiem zjawisk atmosferycznych, przeciwdziałają z drugiej strony siły, których źródłem jest wewnętrzne ciepło ziemi. Te pracują nad wytworzeniem nierówności na powierzchni ziemi, nad pomarszczeniem jej oblicza — tamte zwolna, ale wytrwale i skutecznie dążą do obniżenia wyniosłości, a wypełnienia zagłębień. Tak więc objawy dwóch źródeł ciepła, a mianowicie ciepła wewnętrznego ziemi i słonecznego, toczą ze sobą nieprzerwaną walkę. Jej chwilowym wynikiem, jej przemijającym obrazem jest rzeźba powierzchni ziemi: wysokie szczyty górskie i głęboko wcięte doliny, łagodne pagórki i nieprzejrzane równiny.

Gdyby skorupa ziemska nie ulegała fałdowaniu wskutek kurczenia się, to na powierzchni lądów spotykalibyśmy warstwy poziomo ułożone. Całe obszary byłyby zajęte przez jeden i ten sam utwór, który w takim razie rozciągałby się na znacznej przestrzeni, nie okazując wybitnych zmian w swej

naturze. To też w tych okolicach, gdzie skorupa ziemska od najdawniejszych czasów nie uległa żadnym ruchom i pokłady zachowały swe pierwotne, poziome ułożenie bez żadnej zmiany, jak np. w północno-wschodniej Europie (t. zw. «płyta rosyjska») — spotykamy się z jednostajnym, monotonnym krajobrazem. Na równej, płaskiej powierzchni tu i owdzie pojawia się jezioro, a jedynem urozmaiceniem są głębokie jary, w których płyną rzeki. Ale tak ukształtowane obszary należą do wyjątkowych. Przeważna część lądów w ciągu dawniejszych lub młodszych epok geologicznych uległa silnemu pomarszczeniu. Dzięki temu na powierzchni skały szybko się zmieniają i rozmaite ich rodzaje występują na małej przestrzeni obok siebie. Już przedtem poznaliśmy, jak niejednostajnie, zależnie od swej natury i składników, zachowują się skały wobec niszczących wpływów. Jedne ulegają im w krótszym, inne znowu w dłuższym przeciągu czasu. Skały twarde jako bardziej odporne są z natury usposobione do tworzenia wyniosłości i wysterczają ponad mniej twardymi utworami, które daleko prędzej ulegają zniszczeniu i tworzą partye niższe. Na tem polega piękność i rozmaitość krajobrazu w okolicach górzystych, gdzie warstwy zostały silnie pofałdowane.

Zjawiska atmosferyczne, których wynikiem są czynniki niszczące, nie są wszędzie na ziemi jednakowe. Na ich rozmaitości polegają strefy klimatyczne. Warunki klimatyczne odgrywają w ukształtowaniu powierzchni ziemi bardzo ważną rolę, niekiedy do tego stopnia przeważającą, iż zacierają wpływ samej budowy skorupy ziemskiej, o którym właśnie była mowa.

Im większą wyniosłość stworzyły ruchy skorupy ziemskiej, tem silniej działają na nią siły niszczące i przenoszące, tem prędzej postępuje denudacya. W historyi ziemi znajdujemy liczne przykłady, jak skorupa ziemska pękała i jak po jednej stronie pęknięcia warstwy zapadały się o całe tysiące m w głąb. Wiele z tych potężnych nierówności zostało z czasem zupełnie wyrównanych właśnie dzięki temu, że, im wyżej się wznosimy, tem silniej i skuteczniej działają siły denudacyjne. Istnienie takich zaburzeń poznajemy tylko po tem, że obok siebie znajdują się warstwy tak różne co do swego wieku, iż trzebaby po jednej stronie uskoku nałożyć na grubość tysięcy m coraz młodszych utworów, aby otrzymać ten sam poziom geologiczny, co tuż obok, po przeciwnej stronie pęknięcia. To też nierówności, które powstawały w dawniejszych epokach geologicznych, zaledwie w małej części wpływają na dzisiejszą rzeźbę powierzchni ziemi. Uległy bowiem bądź zupełnemu wyrównaniu, bądź też pozostawiły po sobie rozrzucone szczątki, które stawiły największy opór siłom niszczącym. A te potężne łańcuchy górskie, które tworzą tak wybitne rysy na obliczu ziemi, powstały w ciągu najmłodszych okresów geologicznych, przeważnie w trzeciorzędnym, i dlatego wpływ zjawisk atmosferycznych nie miał jeszcze dość czasu, aby te młode wypiętrzenia skorupy ziemskiej zatrzeć.

Wpływ stosunków klimatycznych na rzeźbę powierzchni ziemi wybornie odbija się w wyglądzie gór:

«W okolicach wilgotnych roślinność jest zwykle bujna; kształty skał są zakryte przez lasy, erozya jest gwałtowna, a skały są przeważnie pogrzebane pod swymi własnymi szczątkami, lub pokryte pokładami ilastymi, zawierającymi resztki roślinne i zwierzęce, a te znowu są osłonięte szatą roślinną. Góry posiadają łagodne zarysy i od roślinności nabierają ciemnej barwy».

«W krainach suchych.... wszystko się zmienia. Góry są ostre i poszarpane, przeważnie pozbawione szaty roślinnej i posiadają barwę skał, z których są zbudowane...... Nagie góry już na pierwszy rzut oka objawiają swą budowę i wyraźnie odsłaniają różnobarwność obnażonych skał. Rozmaitość barw bywa częstokroć wspaniała, zwłaszcza gdy są złożone z purpurowych trachitów, ciemno zabarwionych ryolitów i różnobarwnych tufów wulkanicznych...» (Russell).

Siły górotwórcze i czynniki atmosferyczne pracują nad ukształtowaniem powierzchni ziemi. W klimacie suchym brak najdzielniejszego czynnika transportowego, jakim są wody trwale płynące, wiatr zaś i przemijające strumienie po gwałtownych, ale bardzo rzadkich i krótkich ulewach bardzo powoli zasypują nierówności. To też tutaj rzeźba powierzchni jest głównie dziełem sił górotwórczych. Tem tłumaczy się, że właśnie w obrębie obszarów bezodpływowych spotykamy największe zapadłości na lądach, depresye, położone poniżej poziomu morza. Natomiast w klimacie wilgotnym zagłębienia zostają daleko prędzej zasypywane i wyrównywane.

Wyprawa braci Grum Grzymajło do środkowej Azyi odkryła w r. 1889 rozległą depresyę, która jakby ogromny rów, na 10—50 km szeroki, ciągnie się wzdłuż południowego stoku gór Tien-szan. Dotąd stwierdzono jej istnienie na przestrzeni około 160 km ku wschodowi, począwszy od miejscowości Toksun i Turfan. Depresya tworzy bezgraniczną równinę, z której tu i owdzie sterczą płaskie pagórki. W najniżej położonej części (130 m poniżej poziomu morza), na południowy zachód od Lukczun znajduje się słone jezioro. Depresya posiada klimat wybitnie kontynentalny i tam spotykamy temperatury najwyższe w całej Azyi środkowej. Powietrze posiada mało wilgoci, opady atmosferyczne są rzadkie, a w lecie +45° C w cieniu nie należy do rzadkości. Depresya powstała wskutek zapadnięcia się wązkiego pasu skorupy ziemskiej podczas najnowszych epok geologicznych.

Ostatecznym wynikiem denudacyi jest praca twórcza. Szczątki kontynentów osadzają się w morzu, tutaj nagromadzają się i kiedyś, gdy granice morza zostaną przesunięte, wejdą jako skały w skład lądów, aby znowu paść ofiarą procesów denudacyjnych. Podobnie ma się rzecz i z tym ładunkiem, który woda zabiera w stanie rozpuszczonym i przynosi do mórz lub bezodpływowych obszarów. Skały, które wydzielają się bądź z wody morskiej przy

pomocy świata organicznego, jak np. wapień, bądź też w drodze chemicznej z jezior słonych (gips i sole), z biegiem czasu ulegają wypłukaniu i zostają uniesione przez rzeki. Tak materya, z której składa się skorupa ziemska, jest w ciągłym ruchu, a ten ruch odbywa się zupełnie podobnie jak krążenie wody, ale w daleko wolniejszem tempie. Wraz z krążącą wodą szczątki skał wędrują i nagromadzają się u kresu wód bieżących, aby z czasem dać początek nowym skałom.

IX.

Przenoszenie luźnego materyału, którego dostarcza bezustanne niszczenie skał, jest zadaniem przedewszystkiem wód bieżących. Obok tego sieć rzeczna dostaje z wód źródlanych ogromną ilość składników rozpuszczonych, które wody w swym biegu podziemnym wypłukują, jak wapień, sól etc. Z całym ładunkiem, nabytym na lądach, rzeki zdążają do swego kresu, do zbiorników wody na kuli ziemskiej. Morza i jeziora są widownią ciągłego tworzenia się osadów, a śledzenie, jak ich dno pokrywa się coraz grubszą warstwą sedymentów, jest dla geologa ważną wskazówką przy ocenianiu, w jaki sposób utworzyły się rozmaite skały osadowe, z któremi spotykamy się na powierzchni ziemi.

Wiele rzek, zwłaszcza w okolicach górzystych, przepływa przez jeziora. W nich prąd wody słabnie, a wskutek tego cząstki, które wpierw mógł unosić lub toczyć po dnie koryta, opadają i pokrywają dno jeziora. Rodan w Jeziorze Genewskiem oczyszcza się z zawieszonego szlamu, a opuszczając to jezioro koło Genewy, posiada wodę czystą i przejrzystą, barwy błękitnej. Ale już o **1** km dalej gwałtowna Arve wpada z lodowców Mont-Blanc i zamąca wody Rodanu. Gdy jezioro posiada odpływ, rzeka płynie dalej, jej wody, oczyszczone w jeziorze ze szlamu, stają się czystemi, ale wcale nie uboższemi w rozpuszczone składniki mineralne. Inaczej ma się rzecz w jeziorach, które spotykamy w klimacie suchym. Tu szybkie parowanie pochłania daleko więcej wody, aniżeli jej dostarczają opady atmosferyczne. To też jeziora nie posiadają odpływu i kładą kres biegowi wody płynącej. W nich osadza się nie tylko materyał, mechanicznie przez wodę bieżącą unoszony. Ponieważ jedyną drogą, na której ubywa wody z jeziora, jest parowanie, zatem woda w jeziorze musi ulegać stopniowemu zasoleniu, a gdy wreszcie ten proces dojdzie do pewnej granicy, wydzielają się także składniki rozpuszczone. Tymczasem woda jezior słodkich co do swej zawartości składników rozpuszczonych (najwyżej $^1/_2\%$) nie różni się od wód płynących. Na tej właśnie różnicy w zawartości soli polega podział jezior na słodkie i słone. Istnienie lub brak odpływu za-

leżą od warunków klimatycznych, a mianowicie od stosunku ilości wody, dostarczanej przez opady, do ilości, zabieranej przez parowanie. Zmiana klimatu, ubytek lub przyrost opadu, mogą być przyczyną, że jezioro z odpływem stanie się słonem lub naodwrót.

W czasie bardzo wilgotnej epoki dyluwialnej Ameryka Północna posiadała ogromne jeziora: Champlain, Jez. Agassiza i i. W zachodniej części Ameryki Północnej, między Sierrą Nevadą od zachodu, a Górami Skalistemi od wschodu, znajduje się t. zw. «Wielka Kotlina» (Great Bassin), która zajmuje obszar niemal równy Francyi. Jest to bardzo sucha, pustynna okolica, gdzie wysokość rocznego opadu nie dochodzi do 40 cm, skąd żadna rzeka nie spływa do oceanu. Ale podczas epoki dyluwialnej panował w tej okolicy klimat znacznie wilgotniejszy od dzisiejszego i wówczas istniały tu dwa ogromne jeziora. W zachodniej stronie, w Stanie Nevada, podnóża Sierry Nevady oblewało bezodpływowe jezioro Lahontan, które zajmowało blizko 10000 km^2 i dochodziło do 275 m głębokości. Po stronie wschodniej, w Stanie Utah, u stóp gór Wasatch rozlewało się jeszcze większe jezioro Bonneville. Jego powierzchnia obejmowała przeszło 20000 km^2, a głębokość przekraczała 300 m. Podczas najwyższego stanu wody jezioro Bonneville posiadało odpływ ku północy przez koryto, wcięte do głębokości przeszło 100 m. Później owe jeziora północno-amerykańskie znikły zupełnie, lub pozostawiły po sobie małe stosunkowo resztki. W suchym klimacie Stanu Utah Wielkie Słone Jezioro (Great Salt Lake) przedstawia pozostałość dawnego Bonnevillu, zmniejszoną do $^1/_{10}$ pierwotnej rozległości.

Woda jezior jest w ciągłym ruchu. Tak samo jak na wybrzeżach morskich, ale oczywiście w mniejszych rozmiarach — uderzanie fal niszczy brzeg skalisty, a pokruszone resztki skał osadzają się jako żwir wzdłuż wybrzeża. Z czasem fale wycinają w skałach nadbrzeżnych głęboką bruzdę. Gdy kiedyś obniży się poziom wody w jeziorze, to taka terasa, wyrzeźbiona przez fale, zaznacza wysokość, do jakiej dawniej sięgało zwierciadło wody. Znanym przykładem są terasy, które się znajdują wysoko (najwyższa do 300 m) ponad dzisiejszym poziomem Wielkiego Słonego Jeziora. One to posłużyły do odtworzenia rozmiarów dawnego jeziora Bonneville.

Rozpatrując przyczyny, które mogły spowodować utworzenie się zagłębień, wypełnionych przez wodę jezior, dzielimy jeziora na dwie grupy: wyżłobione i zatamowane.

Jeziora wyżłobione mieszczą się w kotlinach, które powstały wskutek zapadnięcia się skały lub też jej zniszczenia przez wodę bieżącą, lodowce itd. Rzeki u stóp wodospadów uderzają z wielką siłą o skaliste koryto i wyżłabiają kotliny, jak np. poniżej wodospadu Prutu w Jaremczu. Podobnie lodowce ścierają swe podłoże i wydrążają w niem t. zw. «kotły» (po niemiecku Kare) o stromych stokach, a dnie okrągłem i płaskiem, na którem znajduje się jedno lub więcej jezior. Niezliczone przykłady kotłów

mamy w jeziorach krain górskich, np. Alp. W okolicach mniej wilgotnych tworzą się czasem jeziora w zagłębieniach, wydrążonych przez wiatry, które usunęły najdrobniejsze szczątki zwietrzałych skał.

Jeziora wyżłobione powstają także przy zapadaniu się skorupy ziemskiej, bądź wskutek procesów górotwórczych (jeziora we wschodniej Afryce), bądź też wskutek rozpuszczania skał (np. gipsu) przez wody, krążące pod powierzchnią ziemi.

Jeziora zatamowane tworzą się, gdy woda płynąca natrafi w swem łożysku na jakąś przeszkodę. Wówczas woda spiętrza się aż po wierzchołek zapory, poczem przelewa się i odpływa dalej. Przyczyną zatamowania wody bieżącej bywają lodowce lub pozostałe po nich nagromadzenia pokruszonych skał (moreny), usuwanie się góry, lawiny, nagromadzenie osadów u ujścia dopływu, posuwające się wydmy piaszczyste, zastygłe strumienie lawy i t. p. Do tej grupy należą także laguny, które znajdują się wewnątrz wysp (atollów) koralowych i t. zw. «Maare», wypełniające kratery dawno wygasłych wulkanów nad Renem (Eifel) i we Francyi (Auvergne). Jez. Kraterowe w Stanie Oregon Ameryki Północnej należy do najgłębszych, bo jego dno obniża się aż do 1220 m poniżej zwierciadła wody.

Rozmaite zjawiska mogą być przyczyną tworzenia się jezior, ale z pośród nich jedno odgrywa najważniejszą rolę. Jeżeli zwrócimy uwagę na geograficzne rozmieszczenie jezior, uderza ich ogromna obfitość w krainach górzystych (Alpy) lub też daleko ku północy wysuniętych (północna Europa, północna Ameryka). Są to obszary, które w epoce dyluwialnej były pokryte grubą skorupą lodów. Dziś lody zupełnie znikły albo ścieśniły się na małej stosunkowo przestrzeni, pozostawiając ślady swej dawnej rozciągłości w głazach narzutowych, morenach i niezliczonych jeziorach.

Niż niemiecki odznacza się mnóstwem jezior, które powstały w epoce dyluwialnej. Jedne z nich wypełniają zagłębienia w nierównej powierzchni osadów lodów śródlądowych, inne zaś zajmują kotliny, wyżłobione przez wody, których dostarczało topnienie lodów. Niezliczona ilość jezior ciągnie się długim i szerokim pasem na południe od Bałtyku jako t. zw. Pojezierze Bałtyckie. Jeziora północno-europejskiego niżu skupiły się głównie w Pojezierzu Bałtyckiem, a poza niem pojawiają się w bez porównania mniejszej ilości. Ale nie brak ich i na galicyjskim niżu, który zajmuje południowy skrawek północno-europejskiego i razem z nim był w epoce dyluwialnej pokryty przez lody, zesuwające się z dalekiej północy. Koło Bełzca i koło Borowej Góry na wschód od Lubaczowa, a w jeszcze większej ilości w okolicy Szkła i Jaworowa znajdują się dość liczne jeziorka wśród rozległych obszarów, pokrytych dyluwialnym piaskiem i gęsto zasianych okruchami skał północnych. Zagłębienia, w których kryją się jeziorka, okazują niezwykłą rozmaitość kształtu i rozmiarów. Najczęściej kotliny są niewielkie, ich stoki okazują strome nachylenie, a dno, zajęte przez jeziorko, ma kształt mniej więcej okrągły lub owalny,



Jezioro Märjelen zatamowane przez lodowiec Aletsch w Alpach berneńskich w Szwajcaryi.



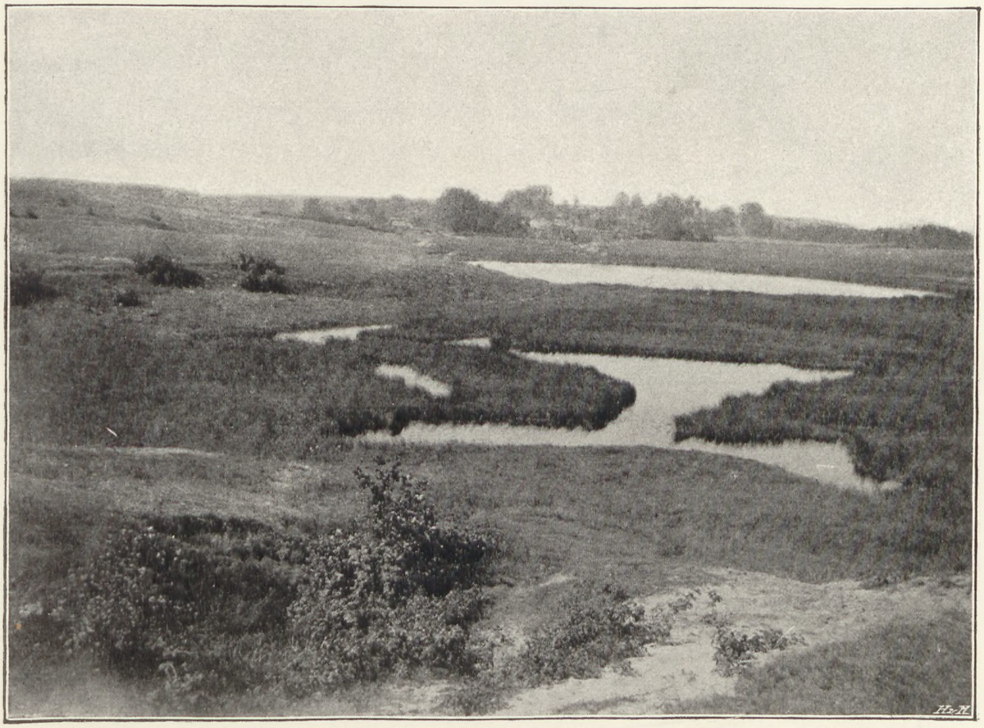
Jezioro koło Stelmachów, na wschód od Borowej Góry w powiecie cieszanowskim. (Według fotograficznego zdjęcia autora.)

nieraz wydłużony. Rzadziej pojawiają się obszerne zagłębienia o stokach bardzo łagodnie, prawie nieznacznie nachylonych. Przeważna część jeziorek wypełnia zamknięte kotliny i nie posiada widocznego dopływu ani też odpływu wody. Ich zwierciadło jest powierzchnią wody gruntowej, która zbiera się w otaczających piaskach, pochłaniających chciwie wodę atmosferyczną. Na nieprzepuszczalnem podłożu, którem mogą być piasek, iły lub glina, woda gruntowa tworzy jednolitą warstwę i w zagłębieniach, sięgających poniżej powierzchni wody gruntowej, występuje jako jeziorko. Czasem z jeziorka wypływa nikła struga wody i zdąża do najbliższego potoku wązkiem korytem, które zarasta sitowiem i jako zielona wstęga zdala wpada w oko wśród nieprzejrzanych piasków. Rozmieszczenie kotlin, które kryją jeziora, jest zupełnie bezładnem. Widzimy je w najrozmaitszem położeniu, zarówno na płaskim grzbiecie, jak po stokach i u stóp falistych nierówności na powierzchni niżu. Brzegi jeziorek zarasta bujna roślinność wodna, rozszerza się coraz dalej i zacieśnia zwierciadło wody. Z czasem jeziorko porasta zupełnie i zamienia się w trzęsawisko, w którego środku zachowała się jeszcze mała kałuża. Wreszcie moczar wysycha i staje się łąką. W okolicy wspomnianych jeziorek, szczególnie koło Szkła, znajduje się bardzo wiele małych i większych zagłębień, których dno wyścielają moczary lub łąki. Wszystkie te zagłębienia są pozostałościami mnóstwa jeziorek, które pod wpływem roślinności przeważnie zanikły, a tylko mała część przetrwała po dziś dzień. Powstanie kotlin, w których mieszczą się jeziorka i trzęsawiska w niektórych okolicach galicyjskiego niżu, jest w najściślejszym związku z pokryciem kraju przez lody w epoce dylu-

wialnej. Gdy lody topniały i cofały się ku północy, osadzały grubą warstwę pokruszonego materyału skalnego. Topnienie lodów dostarczało w ogromnej ilości wody, która krążyła w licznych szczelinach i staczała się z krawędzi lodów. Spadająca ze znacznej wysokości woda przerabiała utwory, osadzone przez lody i wyżłobiła w ich powierzchni niezliczone, małe lub większe zagłębienia, w których mieszczą się jeziorka i moczary jako pozostałości dawnych, bez porównania liczniejszych jezior.

Wskutek nagromadzania się osadów u wybrzeży morskich, wskutek ruchów skorupy ziemskiej lub przesunięć poziomu morza, odnogi morza mogą zostać odcięte i zamienić się w jeziora. Tego rodzaju jeziora nazywamy szczątkowemi (Reliktenseen).

Najlepiej poznanym przykładem jeziora szczątkowego jest Morze Kaspijskie. Aby zrozumieć jego powstanie, musimy sięgnąć wstecz aż do początku epoki mioceńskiej. Wtedy znaczną część środkowej i południowo-wschodniej Europy pokrywało morze, które tworzyło jedną wielką odnogę Morza Śródziemnego i łączyło się z niem tam, gdzie dziś znajduje się dolina dolnego



Jezioro w Stadnykach koło Szkła, w znacznej części zarośnięte sitowiem.
(Według fotograficznego zdjęcia autora.)

Rodanu. Od tego miejsca morze dolno-mioceńskie ciągnęło się wzdłuż Alp aż po Wiedeń, a stamtąd dalej ku wschodowi. Połączenie z Morzem Śródziemnem utrzymywało się przez znaczną część epoki mioceńskiej, ale z czasem zaczęło się zmniejszać, aż wreszcie całkiem ustało i dolno-mioceńska odnoga Morza Śródziemnego przekształciła się w górno-mioceńskie «Morze Sarmackie», które sięgało od kotliny wiedeńskiej daleko ku wschodowi, aż do Azyi. Po zupełnem odcięciu od Morza Śródziemnego, obszar Morza Sarmackiego ścieśnia się coraz bardziej. W epoce plioceńskiej część obszaru, który przedtem zajmowało Morze Sarmackie, jest już lądem. Dawne Morze Sarmackie rozpada się na coraz



Jezioro w Szkle, przy gościńcu do Janowa. (Według fotograficznego zdjęcia autora.)

więcej odrębnych jezior, które z czasem znikają jedno po drugiem, a jedynie Morze Kaspijskie i Jezioro Aralskie zachowały się dotąd jako ostatnie pozostałości po górno-mioceńskiem Morzu Sarmackiem [53]).

Gdy odnoga morska zostanie odciętą od morza i zamieni się w jezioro, wtedy warunki klimatyczne rozstrzygają, czy to jezioro będzie słonem czy słodkiem. Morze Bałtyckie połączone jest z Niemieckiem przez trzy płytkie cieśniny (Mały i Wielki Bełt, Sund), których głębokość dochodzi do 40 m. Jeżeliby o tyle podniosło się dno cieśnin lub poziom morza opadł, wówczas Bałtyk zamieniłby się w jezioro słodkie. Łatwo mogłoby nastąpić odcięcie Mo-

rza Czerwonego od Oceanu Indyjskiego, ale wskutek małej ilości opadów a silnego parowania mielibyśmy tu jezioro słone.

W chwili odcięcia od morza jezioro szczątkowe musi oczywiście posiadać zawartość soli mniej więcej zgodną ze składem wody morskiej. Ale skoro tylko ustało połączenie z morzem, zaczyna się zmieniać skład wody w jeziorze szczątkowem. Jego woda stopniowo staje się albo słodką, albo też coraz bardziej słoną. Tylko mała część zwierząt morskich może znieść bez szkody zmianę zawartości soli w wodzie i przystosować się do wody o zmienionym składzie. To też w porównaniu z morzem, fauna jeziora szczątkowego będzie się składała z nielicznych tylko gatunków, które przetrwały zmianę zawartości soli w wodzie, ale te rozwijają się w ogromnej ilości. Tem odznacza się dzisiejsza fauna Morza Kaspijskiego, to samo jest cechą fauny kopalnej, z jaką spotykamy się w utworach piętra sarmackiego (najmłodsza część miocenu), osadzonych przez Morze Sarmackie.

U swego ujścia do jeziora rzeka pozostawia osady i stopniowo zasypuje nimi zbiornik wody. Posuwanie się osadów rzecznych od brzegu, gdzie wpada rzeka, wypiera wodę i z czasem sprowadza zmianę kształtu jeziora. Przy zasypywaniu jezior ważna rola przypada roślinności, która coraz bardziej rozszerza się od brzegów ku środkowi, utrwala luźne osady rzeczne i przyspiesza zanik jeziora. W wielu dolinach alpejskich bagna i torfowiska wskazują miejsca, gdzie niegdyś znajdowały się jeziora. Ale jest jeszcze inna okoliczność, która wpływa na zmniejszanie się jezior. Rzeki, które z nich wypływają, wcinają swe łożyska coraz głębiej i przez to obniżają poziom wody w jeziorze.

Jeziora są zjawiskiem przemijającem i znikomem. Porównanie starych i nowych map krajów alpejskich okazuje, ile jezior w niedługim czasie zmniejszyło się znacznie lub zupełnie zniknęło. W ten sposób obliczono, że w ciągu ostatnich stu lat zniknęło w Tyrolu 118 jezior. Tak samo wykazano ubytek 73 jezior w Kantonie Zurychskim od połowy XVII wieku.

Wielkość jezior jest bardzo rozmaitą; od kilku m^2 powierzchni mamy wszystkie przejścia aż do dziesiątek, a nawet setek tysięcy km^2. Pod względem obszaru pierwsze miejsce zajmuje Morze Kaspijskie (około 440000 km^2, t. j. prawie cała Szwecya). Zwierciadło wielkich jezior kanadyjskich (Górne, Michigan, Huron, Erie i Ontario) pokrywa przestrzeń 239000 km^2, Aralskie rozlewa się na obszarze 67000, a Ładoga na 18000 km^2. W porównaniu z obszarem bardzo małą jest głębokość jezior. Do najgłębszych należą: Bajkał (1373 m), Kaspijskie (1124 m) i Garda (825 m).

Jeziora słone (bezodpływowe).

W naszym klimacie woda deszczowa po części paruje, po części wsiąka w ziemię, a reszta odpływa rzekami do morza. Zupełnie inaczej dzieje się w klimacie suchym, gdzie spotęgowane parowanie zabiera ogromne masy

wody. Przytem wyschły i popękany grunt pochłania niemałą część opadów atmosferycznych, które zdarzają się bardzo rzadko, nieraz w długich odstępach czasu. Wskutek tego z całego opadu bardzo mało wody pozostaje na odpływ po powierzchni ziemi. Strugi wody, jeżeli wogóle istnieją, już po krótkim biegu zupełnie wysychają i ustaje połączenie z morzem.

Z reguły lądy są właściwem polem działania czynników niszczących. Wprawdzie i na lądzie można spostrzedz nagromadzanie się materyału skalnego: tu wybuch wulkanu wyrzuca popiół i wylewa lawę, tam rzeka osadza napływy, gdzieindziej znowu u brzegu lodowca tworzą się moreny i t. p., ale wynik tych czynników tworzących jest przemijającym. Prędzej czy później wody bieżące spełnią swe zadanie i uniosą z lądów wszelki skalny materyał, nawet taki, który chwilowo nie ulegał czynnikom niszczącym, ale przeciwnie nagromadzał się miejscami. Właściwe tworzenie się osadów na wielką skalę rozpoczyna się u kresu rzek, w wielkich zagłębieniach oceanicznych. Stąd woda może uchodzić tylko jako para, ale pozostawia każdą choćby najmniejszą cząstkę mineralną, czy to prądem porwaną, czy też rozpuszczoną na lądzie. Nie istnieje żadna droga, na której materyał skalny mógłby się wydobyć z oceanów, musi więc tu tak długo pozostać i przetwarzać się, aż wskutek zmian w rozmieszczeniu mórz i lądów dno oceanu stanie się lądem, a jego osady skałą.

W tem znaczeniu obok mórz drugiem miejscem, a jedynem wogóle na lądzie, gdzie w ogromnych rozmiarach tworzą się skały, są obszary bezodpływowe. Ich cechą jest to samo, co wyżej powiedzieliśmy o morzu. Brak połączenia z oceanami zapomocą wody bieżącej stawia granicę nie do przebycia dla materyału skalnego i nie dozwala mu wydobyć się poza obręb przestrzeni bezodpływowych z wyjątkiem najdrobniejszego pyłu, który, porwany wiatrem, nie zna żadnych granic. Cokolwiek w krainach bezodpływowych po gwałtownej ulewie chwilowy strumień wody na jednem miejscu porwie lub rozpuści — wszystko już w niewielkiej odległości musi aż do najdrobniejszej cząstki osadzić, bo wnet woda wysycha i kończy się jej bieg.

W ten sposób obszary bezodpływowe tworzą całość w sobie zamkniętą i zupełnie odrębną pod względem zjawisk geologicznych. Z całej powierzchni lądów $\frac{1}{5}$, t. j. 24,000.000 km² przypada na krainy, którym brak odpływu. Są one zazwyczaj otoczone pasem stepów o obfitszym opadzie a mniejszem parowaniu i stopniowo przechodzą w obszary, które są odwadniane przez rzeki.

Rzeki, których początek leży w klimacie wilgotnym, a które w dalszym biegu dostają się w obręb krain bezodpływowych, wypełniają tutaj zagłębienia i rozlewają się w jeziora. Z rozległego zwierciadła wznosi się w suchą atmosferę bardzo wiele pary wodnej i wskutek tego rzeka nie może dalej odpływać, a jezioro staje się słonem. W ten sposób rzeki zanikają w obszarach bezodpływowych, a wyjątkiem jest Nil, który pomimo znacznej utraty wody zdołał przetrwać drogę przez pustynię i dostaje się do morza. Znamy jeszcze drugi wyjątkowy wypadek tego rodzaju, a jest nim rzeka Colorado w Ameryce Północnej.

Wielka część jezior bezodpływowych jest zasilana przez dopływy peryodyczne, których dostarczają krótkie, ale bardzo gwałtowne ulewy. Jeżeli uważamy wogóle jeziora za coś nietrwałego, to jeziora bezodpływowe, które powstają wskutek nagłych ulew, można określić jako zjawisko nieraz kilkudniowej egzystencyi. Gdzie dziś, jak daleko oko sięga, cała przestrzeń pokryta jest wodą, tam za kilka dni karawana posuwa się po gruncie popękanym, na którego powierzchni lśnią kryształy soli lub gipsu.

Ale i słone jeziora o stałych dopływach nie są wolne od zmian, które tu wymagają stosunkowo dłuższego czasu. Mała zmiana warunków klimatycznych już wpływa na stosunek parowania i wsiąkania do odpływu, a tem samem może wywołać zmniejszenie się lub zanik jeziora.

Powierzchnia obszarów bezodpływowych, zajęta przez luźne szczątki zwietrzałych skał, jest widownią bardzo szybkich zmian. Wiatry, posuwające przed sobą wały wydm, lub woda, tocząca po gwałtownej ulewie masy okruchów skalnych, zasypują jedne zagłębienia, a w innem miejscu stwarzają nowe. Doskonałym przykładem takich zmian jest bezodpływowe jezioro Lop-nor w środkowej Azyi, w którem kończy się bieg rzeki Tarymu W r. 1896 Sven Hedin zaledwie zdołał poznać jezioro, które Przewalski opisał w r. 1885.

Zależności jezior słonych wyłącznie od warunków klimatycznych odpowiada ich geograficzne rozmieszczenie. Na mapie występowanie jezior słonych i obszary bezodpływowe, pustynne pokrywają się wzajemnie. Najwięcej jezior bezodpływowych znajduje się w północnej Afryce, na nizinie aralo-kaspijskiej, w Persyi, w środkowej Azyi i w Ameryce Północnej. Największą zapadłość na lądzie przedstawia Morze Martwe, którego zwierciadło leży o 390 m niżej, aniżeli poziom Morza Śródziemnego.

Pod względem składników rozpuszczonych w wodzie, jeziora słone odznaczają się ogromną rozmaitością. W jednych głównym składnikiem jest chlorek sodowy czyli sól zwyczajna, w innych przeważa węglan sodowy czyli soda (np. na stepach węgierskich), gdzieindziej wreszcie pierwsze miejsce zajmuje boraks (np. Kalifornia) lub chlorek magnowy (Morze Martwe).

Podobnie jak różnorodność składu chemicznego, z samego sposobu powstawania jezior słonych wynika rozmaity stopień ich zasolenia. Stąd ilość soli, rozpuszczonych w wodzie jezior bezodpływowych, wykazuje wielką zmienność, jak np.:

Jezioro Aralskie	1,08%
J. Gorżkie w przesmyku Suezkim	5,37%
Morze Martwe	19—26%
Wielkie Słone Jezioro	20%
Urmia	21,05%
Elton	29%
Van	33%
Guzgundag	36,8%

Przeważna część pokładów soli, które znajdują się wśród utworów rozmaitych okresów geologicznych, powstała w jeziorach bezodpływowych. Skały, które znajdują się na powierzchni ziemi, dostarczają wodzie bieżącej soli. Utwory morskiego pochodzenia zawsze zawierają trochę soli, inne nabywają jej podczas wybuchów wulkanicznych, inne wreszcie wskutek rozkładu dostarczają związków rozpuszczalnych. W naszym klimacie woda unosi wszystkie części rozpuszczone do morza, ale inaczej dzieje się w okolicach, którym brak odpływu. Te są odcięte od morza, a wskutek tego sole, wypłukane ze skał, zbierają się w jeziorach bezodpływowych w coraz większej ilości.

Sven Hedin znalazł 21 sierpnia 1900 r. we wschodnim Tybecie [54]) w wysokości 4765 m jezioro słone, tak wielkie, iż po jednej stronie nie było widać brzegów. Jezioro okazało się bardzo płytkiem i tylko w niektórych miejscach znaleziono głębokość, przekraczającą 2 m. Woda w jeziorze jest nasyconym roztworem soli, która bezustannie się wydziela i osadza. Łódka w jednej chwili pokryła się warstewką soli i wyglądała jakby mąką posypana. Każda kropla wody z jeziora pozostawiała po wyparowaniu kuleczkę soli. Dno jeziora tworzy pokład soli o nierównej, bardzo szorstkiej powierzchni, a nieznanej grubości.

Obszary bezodpływowe są jedynem miejscem na ziemi, gdzie w dobie obecnej nagromadzają się ogromne masy minerałów, w wodzie rozpuszczalnych (sole, gips). Jeziora słone szybko znikają i pozostawiają wydzieloną warstwę soli. Wiatry pokrywają ją drobnym pyłem, który tworzy ochronną powłokę i nie dopuszcza spłukania soli przez wodę. A gdy po jakimś czasie znowu wody nasycone solami zaleją to miejsce, osadzą nową warstwę soli, wcale nie naruszając poprzedniej. Peryodyczne zalewy i wysychanie mogą się powtarzać przez czas niezmiernie długi i osadzać coraz grubszy pokład soli, który będzie się składał z warstw czystej soli, poprzegradzanych warstewkami iłu.

Jeziora słone są wynikiem stosunków klimatycznych, a pokłady soli, jako pozostałości po nich, mogą nas pouczyć o klimacie ubiegłych okresów geologicznych i o ówczesnem położeniu okolic bez odpływu. Tak np. pas utworów solonośnych, który się ciągnie w naszym kraju wzdłuż północnego stoku Karpat, świadczy, że w czasie tworzenia się pokładów soli (dolny miocen) panował tu klimat suchy i znajdowały się jeziora bezodpływowe.

W niektórych wypadkach pokłady soli są osadem morskim. Woda morska pomimo znacznej zawartości składników mineralnych daleką jest od zupełnego nasycenia i mogłaby jeszcze wiele soli rozpuścić. Po zupełnem wyparowaniu Morza Śródziemnego pozostałaby na jego dnie warstwa soli, zaledwie na 27 m gruba. Ażeby z wody morskiej mogły się osadzić tak grube pokłady soli, jak np. w Sperenberg pod Berlinem, gdzie przeszło 1200 m wiercono w soli i jeszcze nie osiągnięto jej końca — do tego potrzeba pewnych szczególnych warunków. Wydzielanie się soli z wody morskiej w tak grubych

pokładach może się odbywać jedynie w wielkich zatokach, oddzielonych od morza podwodnym wałem (»Barre«) tak, że tylko płytka cieśnina utrzymuje połączenie z morzem. W zatoce parowanie postępuje prędzej, aniżeli w otwartem morzu, woda zatem musi zawierać większą ilość soli. Obniżenie poziomu wody w zatoce wskutek szybkiego parowania zostaje wyrównanem przez prąd, który dopływa przez cieśninę z otwartego morza i przynosi ciągle nowy zapas soli. Wreszcie roztwór w zatoce dochodzi do zupełnego nasycenia i z tą chwilą rozpoczyna się wydzielanie składników, w wodzie rozpuszczonych. Przykładem tego rodzaju jest zatoka Karabugas w Morzu Kaspijskiem, w której stwierdzono wydzielanie się soli glauberskiej i gipsu. Zatoki takie mogą istnieć tylko w klimacie suchym, gdzie parowanie szybko się odbywa. Zawsze więc, czy to w jeziorach bezodpływowych, czy też w zatokach morskich, suchy klimat jest koniecznym warunkiem nagromadzania się złóż soli. Bogate złoża soli permskiego wieku (zechstein) w Niemczech są osadem obszernego morza zamkniętego, które tylko wązką cieśniną łączyło się z otwartem morzem.

Oceany

możnaby nazwać jednem olbrzymiem jeziorem bezodpływowem, w nich bowiem powoli zbiera się materyał, który rzeki przynoszą jako wynik bezustannego niszczenia powierzchni lądów. Z tych drobnych cząstek powstają z czasem osady, które w dalekiej przyszłości wynurzą się nad powierzchnię mórz jako skały.

Wszystkie morza na kuli ziemskiej łączą się ze sobą cieśninami i tak tworzą jeden wielki zbiornik wody bez odpływu. Skoro zaś oceany łączą się w jedną całość, to łatwo zrozumieć, że woda morska z małymi wyjątkami wszędzie zawiera takie same składniki mineralne i to w jednakowej ilości.

W 1 kg wody morskiej znajduje się 34,77 g części stałych rozpuszczonych [55]), z czego przypada na

chlorek sodowy	27,18
» magnowy	3,35
siarczan magnowy	2,27
» wapniowy	1,27
chlorek potasowy	0,61
bromek magnowy	0,05
dwuwęglan wapniowy	0,04
	34,77

Gdyby głębokość mórz była wszędzie jednakową, to w razie wyparowania oceanów składniki te pokryłyby dno morskie warstwą na 52 m grubą.

Przy rozpatrzeniu się w powyższem zestawieniu uderza fakt, że dwu-

węglan wapniowy, który jest najważniejszym składnikiem mineralnym wody rzecznej, w morzu schodzi na jedno z ostatnich miejsc. Przyczyną tego jest pochłanianie węglanu wapniowego[56]) przez liczne zwierzęta morskie (mięczaki, korale, otwornice), które zużywają ogromne masy tego składnika na swe skorupy i szkielety.

Woda zimna mórz podbiegunowych jako cięższa opada na dół i zwolna rozszerza się po wszystkich oceanach, połączonych z morzami polarnemi. Wpływ ciepła słonecznego przenika oceany tylko do pewnej głębokości i ogrzewa zaledwie najwyższe warstwy wody, które jako lżejsze utrzymują się na powierzchni i nie mieszają się z głębszemi. Stąd temperatura w głębiach oceanicznych jest bardzo jednostajną, dzięki napływowi wody z mórz polarnych nizką, blizką punktu zerowego.

W przeciwieństwie do głębin wyższe warstwy wód oceanicznych są ciągle w ruchu. Pod wpływem wiatrów, wiejących stale w tym samym kierunku, powstają potężne prądy jakby rzeki na powierzchni oceanów i przynoszą wodę z mórz polarnych w okolicę równika lub odwrotnie. Tem też tłumaczy się jednostajny skład chemiczny wody w oceanach. Fale lub kolejne następstwo przypływu i odpływu są na wybrzeżach ważnym czynnikiem geologicznym, bo tu morze bezpośrednio oddziaływa na ląd w niszczący lub tworzący sposób. Niszczące działanie wzburzonego przez wiatr morza można najlepiej widzieć na brzegu skalistym. W czasie burzy morze z ogromną siłą uderza o brzeg, odrywa i unosi olbrzymie odłamy skał. Podczas przesuwania materyału skalnego fale morskie rozkruszają go i przy jego pomocy ścierają i dalej niszczą brzeg. W ten sposób morze wyrzeźbia w skalistem wybrzeżu, między wysokością przypływu i odpływu, głęboką bruzdę, a poniżej osadza roztarte szczątki skał, do których przyłączają się pokruszone skorupy mięczaków, niekiedy w przeważającej ilości. Czasem prądy porywają drobniejszy materyał, przenoszą i osadzają na odległem wybrzeżu. Tam wynurzają się z morza ławy piasku, znane na Pomorzu jako mierzeje (Nehrungen). W ten sposób mogą z czasem zatoki morskie zostać odcięte od morza i zamienić się w laguny (Haff, lido), piasek zaś, wyrzucony na brzeg, podlega działaniu wiatrów i pod ich wpływem układa się w wydmy.

Przy działaniu fal morskich wchodzi w grę budowa geologiczna wybrzeża, a mianowicie nachylenie warstw, zwięzłość i odporność skał lub następstwo po sobie miękkich i twardszych pokładów. Od tego zależy także tworzenie się dziwacznych form, jak naturalnych bram, grot, jaskiń i t. p. Piękne zjawiska tego rodzaju można widzieć na skalistych wybrzeżach Anglii, wyspy Helgoland i w. i.

Wskutek podmywania brzeg skalisty zapada się, a tymczasem morze zaczyna wydrążać nową bruzdę. To powtarza się kilkakrotnie, aż wreszcie z posuwaniem się wybrzeża w głąb lądu siła fal morskich słabnie coraz bardziej i z czasem ich działanie ustaje. Gdy jednak poziom morza bez przerwy



Brzeg Morza Czerwonego koło Szerm ul Moiya na półwyspie Synajskim.
(Według fotograficznego zdjęcia Natterera z Geograf. Instytutu Uniwersytetu we Wiedniu.)

wznosi się, albo też ląd opada, wówczas proces niszczenia lądu posuwa się coraz głębiej. Mamy wtedy zjawisko, zwane abrazyą; postępuje ona wzdłuż poziomej powierzchni abrazyjnej, a na niej osadzają się okruchy skał. Warstwy wypiętrzone zostają ścięte i niezgodnie pokryte poziomymi pokładami żwiru i piasku.

Wpływ przypływu i odpływu widoczny jest na płaskich wybrzeżach Morza Niemieckiego w Szlezwiku, Danii i Holandyi. Wzdłuż wybrzeży ciągną się osady piaszczyste, t. zw. «Watten», które morze zalewa tylko podczas przypływu. Wegetacya utrwala luźne osady i przyspiesza ich nagromadzanie się — to też wkrótce podwyższają się, wychodzą z obrębu działania fal morskich i tworzą żuławy (Marschland).

Dno oceanów zalegają rozmaite osady, które opadają lub wydzielają się z wody morskiej. Znajdujemy je w każdej głębokości, od największej do najmniejszej, z tą tylko różnicą, że różne utwory są przywiązane do innej głębokości. Do wyjątków wypada zaliczyć kanał La Manche, gdzie zauważono zupełny brak osadów, gdyż tutaj silne prądy uniemożliwiają nagromadzanie się jakiegokolwiek materyału.

Materyały, z których tworzą się osady, dostają się do morza różnemi drogami, ale pierwszeństwo przyznać należy rzekom. Składniki, w ich wodzie rozpuszczone, zwiększają coraz bardziej zapas soli w wodzie morskiej [57]). Materyał mechaniczny, którego dostarczają rzeki i uderzanie fal o brzegi, osadza się przeważnie w niewielkiej odległości od lądu i tylko mała część dostaje się na pełne morze. W pobliżu wysp koralowych materyał mechaniczny składa się wyłącznie z okruchów wapiennych.

Wulkany występują wzdłuż wybrzeży lub na dnie morza. Produkty wybuchów dostają się łatwo do morza, mieszają się z innymi osadami i wchodzą w skład utworów morskich.

Obok rzek i wiatry przynoszą do oceanów materyał z lądów. W strefie passatów na Oceanie Atlantyckim znajdowano w odległości 2400 km od wybrzeża pył, pochodzący niewątpliwie z Sahary.

Innym środkiem transportowym są pływające góry lodowe, które odrywają się od nadbrzeżnych lodowców w strefie polarnej, zostają uniesione przez prądy w okolice cieplejsze, topnieją i pozostawiają okruchy skał. Niejednokrotnie sieć wydobywała z głębin morza duże nawet odłamy skał, które z górami lodowemi zostały przeniesione z okolic podbiegunowych i rozsiane na dnie mórz strefy cieplejszej.

W osadach morskich bardzo wielki udział mają szkielety organizmów, które wydzielają z wody morskiej węglan wapniowy lub krzemionkę. Takie utwory przeważają dopiero w większej głębokości, zdala od lądów.

Z prądami daleką wędrówkę po morzu odbywają przedstawiciele fauny i flory lądowej, jak np. olbrzymie nagromadzenia roślin, znane pod nazwą «wysp pływających». W r. 1892 widziano na Oceanie Atlantyckim tego rodzaju



Wybrzeże Helgolandu: u dołu górny perm (zechstein), a na nim czerwone utwory dolno-tryasowe (piętro pstrego piaskowca.)

wyspę, która zajmowała około 1000 km², a wznosiła się na 9 m ponad powierzchnią morza. Zdarzało się, że u brzegów Szpicbergu znajdowano szczątki roślin, które żyją w Indyach Zachodnich. Stamtąd pochodziły również orzechy drzew tropikalnych i masy trzciny cukrowej, wyławiane na północnem wybrzeżu Islandyi. Znanem zjawiskiem, które dawniej dawało powód do najdziwaczniejszych domysłów, jest t. zw. «morze sargasowe». Na wybrzeżach Antyllów pojawia się w niezwykłej obfitości rodzaj alg, zwany Sargassum. Prąd Zatokowy (Golfstream) unosi masy tych roślin, które na pełnem morzu dalej wegetują i przechowują faunę wybrzeżną.

Często znajdowano na dnie głębin oceanicznych materyał pochodzenia kosmicznego. Bryłki żelaza meteorycznego w przebiegu przez atmosferę stapiają się i powlekają skorupą stopioną, a dzięki temu przez długi czas mogą się opierać rozkładowi.

Zależnie od głębokości i oddalenia od lądu tworzą się w morzu rozmaite osady. Pod tym względem można podzielić wszystkie oceany na trzy zasadnicze strefy:

1) Strefa przybrzeżna . . . . 160000 km²

2) Morze płytkie . . . . 26000000 km²
3) « głębokie . . . . 344860000 km²

Największa część materyału, pochodzącego z lądów, osadza się niezbyt daleko od wybrzeży, zajmując wzdłuż nich pas, na kilkaset (średnio 250) km szeroki. Bezpośrednio przy brzegu spotykamy strefę przybrzeżną (litoralną), w której obok drobnego materyału osadzają się także żwiry lub grubszy piasek. Miejscami nagromadzają się ławice skorup, pogruchotanych i wyrzuconych przez fale. Strefa przybrzeżna pozostaje pod wpływem przypływu i odpływu morza. Dzięki temu, że przypływ i odpływ morza bezustannie następują po sobie, osady na dnie strefy przybrzeżnej naprzemian wynurzają się ponad wodę i znowu zostają zalane przez morze. Przytem powstają na powierzchni osadów nierówności, właściwe utworom strefy wybrzeżnej. Tak np. na powierzchni warstw, które osadzały się w strefie przybrzeżnej, widać pręgi, powstałe pod wpływem fal morskich [58]), ślady pełzających robaków i ślimaków (t. zw. hieroglify) i t. p.

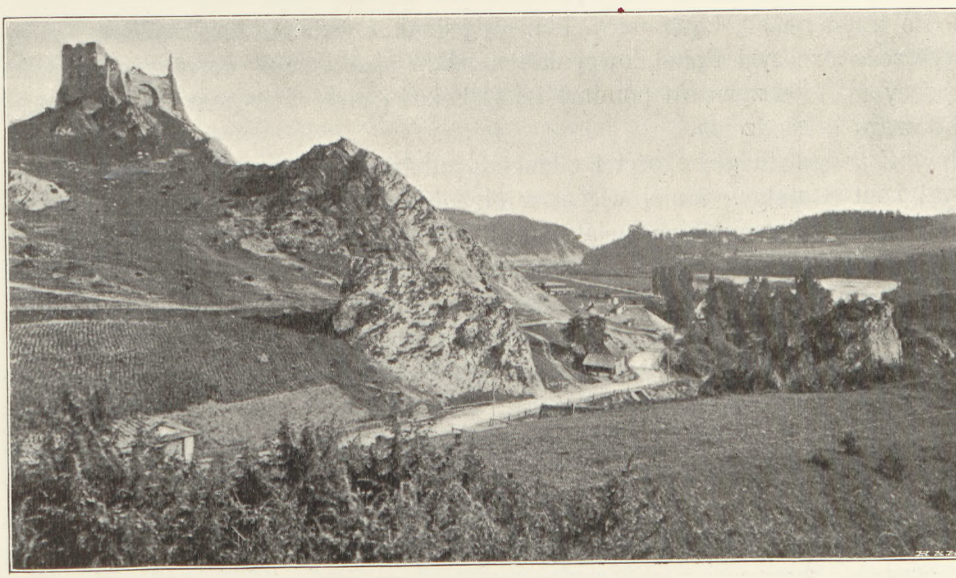
Utworem strefy przybrzeżnej są skały, z których składają się Karpaty. Mamy tu najrozmaitsze piaskowce, których warstwy na spodniej [59]) powierzchni okazują t. zw. hieroglify i inne wypukłości. Obok nich występują iły i łupki iłowe rozmaicie zabarwione, a często zawierające kryształki gipsu i materyę organiczną — margle z odciskami roślin morskich (fukoidy) — rogowce, a zwłaszcza menilit, odmiana opalu — wreszcie zlepieńce i okruchowce oraz buły rudy żelaznej (sferosyderyty). Taką mieszaninę naprzemianległych warstw rozmaitych osadów nazywamy wykształceniem fliszowem lub krótko fliszem. Flisz karpacki odpowiada swym wiekiem geologicznym systemowi kredowemu i starszemu trzeciorzędowi (paleogen).

W skałach fliszu karpackiego znajduje się bardzo dużo resztek organizmów. Do najczęstszych należą otwornice, których pełno w każdym piaskowcu karpackim. Zlepieńce zawierają miejscami mnóstwo okruchów skorup (np. ostrygi), kolce jeżowców, korale i pokruszone algi wapienne (Lithothamnium). Cienko warstwowane, bitumiczne łupki barwy czekoladowej okazują na powierzchni niemal każdej warstewki liczne szczątki ryb. W piaskowcach nieraz natrafiano na zęby rekinów. Z rozkładu materyi organicznej, nie tylko zwierzęcej ale także roślinnej, powstały nafta i wosk ziemny (ozokeryt), których niewyczerpany zapas kryją utwory fliszu karpackiego. Nafcie często towarzyszy woda słona w wielkiej obfitości.

W płytkiem morzu przybrzeżnem, w którem osadzał się flisz karpacki, uderzanie fal o wybrzeża i ruch morza podczas przypływu i odpływu musiały kruszyć i rozcierać wszelkie szczątki organiznów, jak skorupy mięczaków i t d. To też w fliszu karpackim dobrze zachowane skamieniałości, przy których pomocy możnaby ściśle określić wiek rozmaitych utworów, należą do rzadko-

ści i to jest powodem, że oznaczenie wieku geologicznego skał karpackich i ich wzajemne porównywanie natrafia na niemałe trudności.

Prawdopodobnie w okolicach morza, na którego dnie osadzał się flisz karpacki, panował klimat podzwrotnikowy. Z tego morza sterczał w miejscu dzisiejszego łańcucha Karpat szereg wysp, zbudowanych ze skał starszych od fliszu i dawniej wypiętrzonych. Możnaby je nazwać «Prakarpatami». Jedne z nich zostały zniszczone przez fale morskie, a ich okruchy dostarczyły materyału na tworzenie się zlepieńców, jak np. «zlepieńca ze Słobody Rungurskiej» nad Prutem i Bystrzycami. Inne zachowały się dotąd jakby gniazda wśród utworów fliszowych, zbudowane ze skał krystalicznych (pasmo pokucko-marmaroskie



Czorsztyn.

nad górnym Czeremoszem, Tatry) lub wapiennych wieku jurajskiego («skałki», Czorsztyn, Pieniny).

Dalej od wybrzeży, mniej więcej aż do głębokości 200 m, dno morskie pokrywa drobny piasek. W miarę oddalania się od lądu coraz większą staje się domieszka cząstek ilastych, a więc najdrobniejszego materyału mechanicznego. Wreszcie dochodzimy do strefy iłu wybrzeżnego (kontynentalnego), która sięga do głębokości 1000 m. Trzy są główne rodzaje iłu kontynentalnego, wyraźnie różniące się od siebie zabarwieniem. Niebieski zawdzięcza swą barwę rozkładającej się materyi organicznej — zielony powstaje wskutek przymieszania ziarnek minerału, zwanego glaukonitem. Domieszka ta bywa niekiedy znaczną i wówczas mamy piasek zielony; czysty piasek glaukonitowy znaleziono dotąd tylko u wybrzeży kalifornijskich. Nakoniec ił czerwony spo-

tykamy głównie u tych wybrzeży, gdzie rzeki odwadniają obszary, zajęte przez lateryt. Na wschodniem wybrzeżu Południowej Ameryki żółty szlam rzeki Amazonas zabarwia wodę morską na odległość kilkuset km od ujścia. Brunatna barwa wód rzeki Kongo daje się spostrzedz jeszcze w oddaleniu przeszło 400 km od ujścia.

Powyższe rodzaje iłu towarzyszą wybrzeżom kontynentów. Odmienne utwory pojawiają się w pobliżu wysp oceanicznych pochodzenia wulkanicznego lub zbudowanych przez rafy koralowe. Tu dno morskie jest pokryte szarym iłem wulkanicznym lub białym szlamem, powstałym ze skruszenia i roztarcia wapiennych utworów koralowych.

Utwory wybrzeżne sięgają tylko do pewnej głębokości i mniej więcej ściśle trzymają się tej granicy. Istnieją jednak i wyjątki. Jeżeli u zachodniego wybrzeża Ameryki Południowej dno morskie opada nagle do głębokości kilku tysięcy m, to oczywiście pomimo tej głębokości musi być pokryte przez osad lądowego pochodzenia.

Z wzrostem głębokości i oddalenia od lądu coraz bardziej zanika materyał kontynentalny. Mniej więcej w głębokości 1000 m rozpoczyna się strefa utworów głębokomorskich (pelagicznych), tworzących się przedewszystkiem pod wpływem świata organicznego. Przy tworzeniu się głębokomorskich osadów organicznego pochodzenia wchodzą w grę bardzo drobne twory, zarówno zwierzęta, jak rośliny, które w niezliczonej ilości roją się w wodzie oceanów (głównie w najwyższych warstwach wody) i bezwładnie dają się unosić prądom morskim. Dla powstawania osadów na dnie głębokiego morza największe znaczenie mają z pośród zwierząt niektóre rodzaje otwornic (foraminifera) i radyolarye, z roślin zaś okrzemki (diatomeae). Po śmierci nadzwyczaj drobne skorupki i szkielety tych organizmów, zbudowane z węglanu wapniowego lub z krzemionki, opadają na dno morza. W strefie przybrzeżnej mieszają się z osadami lądowego pochodzenia i niemal znikają wobec ogromnej ilości materyału nieorganicznego, pochodzącego ze zniszczenia kontynentów, daleko zaś od brzegów kontynentów, dokąd nie dochodzą okruchy skał lądowego pochodzenia, szczątki tych drobnych organizmów są najważniejszym materyałem, z którego zwolna nagromadzają się osady na dnie morza.

Najbardziej rozpowszechnionym osadem głębokomorskim organicznego pochodzenia jest szlam globigerinowy, składający się przeważnie z wapiennych skorupek otwornicy Globigerina. Szlam ten jest bardzo bogaty w węglan wapniowy (80—90%), a uderzająco przypomina zwyczajną kredę, używaną do pisania. Węglan wapniowy w szlamie globigerinowym nie pochodzi wyłącznie z otwornic. Obok ich skorupek znajdują się bardzo drobne ciałka wapienne o kształcie okrągłych płytek (kokkolity), pręcików (rabdolity) i t. d. Ciałka te wydzielają się z wody morskiej za pośrednictwem organizmów, albo też i bez ich współudziału jako osad chemiczny. Przymieszka niewapienna w szlamie globigerinowym składa się przeważnie z krzemionki, której dostarczają igły

ze szkieletów gąbek. Ten szczegół rzuca światło na występowanie buł krzemienia w utworach wapiennych, jak np. w skałach jurajskich w okolicy Krakowa. I rzeczywiście w tych krzemieniach znaleziono bardzo dużo resztek gąbek.

W niektórych częściach oceanów zamiast globigerin nagromadzają się na dnie resztki innych organizmów. W południowej części Oceanu Spokojnego i Indyjskiego szlam globigerinowy jest na znacznej przestrzeni zastąpiony przez diatomeowy, który składa się z krzemionkowych szkieletów alg, zwanych okrzemkami (diatomeae).

Szlam globigerinowy dochodzi mniej więcej do głębości 4000 m. Jeszcze głębiej zajmuje jego miejsce szlam radiolariowy, barwy brunatnej, który składa się przeważnie z krzemionki i obok niej z węglanu wapniowego (20°/₀). Krzemionki dostarczają szkielety bardzo drobnych zwierzątek, zwanych radiolariami, podobnych do otwornic, ale różniących się nieco wyższą organizacyą.

Wybuchy wulkaniczne dostarczają luźnego materyału, który uniesiony wiatrem lub prądem wody odbywa wędrówkę po całej kuli ziemskiej i opada na dno oceanów. Gdzie tworzą się osady wapienne pochodzenia organicznego, tam niewielka ilość produktów wulkanicznych znika wobec innych osadów i trzeba dopiero rozpuścić w kwasie szlam globigerinowy, aby otrzymać nieorganiczne zanieczyszczenia. Inaczej ma się rzecz w wielkich głębiach oceanicznych. Tu wskutek ogromnego ciśnienia woda zawiera wiele bezwodnika węglowego i rozpuszcza wszelkie szczątki wapienne zwierząt, a nagromadzają się jedynie zwietrzałe produkty wulkaniczne. Tak tworzy się niesłychanie powoli czerwony ił głębokomorski, najbardziej rozpowszechniony utwór pelagiczny, który zajmuje obszar przeszło 130 milionów km^2, t. j. $\frac{1}{4}$ powierzchni całej ziemi, nie przekraczając ku północy i południowi 45^0 szer. geogr. Ił ten, barwy czerwonej z powodu zawartości tlenku żelazowego, jest bardzo ubogi w węglan wapniowy (7°/₀) i krzemionkę (2°/₀). Obok drobnych kuleczek magnetytu pochodzenia kosmicznego znajdują się w nim buły, składające się z połączeń żelaza lub manganu, a zawierające niektóre z rzadkich metali.

Z resztek organizmów znaleziono w ile czerwonym tylko mnóstwo zębów rekinów i otolity (kości uszne) ryb, ponieważ są o wiele trudniej rozpuszczalne, aniżeli inne części szkieletu. Olbrzymie rekiny (Carcharodon), których zęby znaleziono na powierzchni głębokomorskiego iłu czerwonego i w środku buł manganowych, dawno wymarły. Jeżeliby się nie udało spotkać kiedyś ich żyjących przedstawicieli, to musielibyśmy się zgodzić, że w tych największych głębiach od czasu epoki mioceńskiej nie utworzyła się prawie żadna warstwa osadu.

Wpływ głębokości na życie w morzach jest bardzo silny. Największą obfitość i rozmaitość świata organicznego przedstawia strefa wybrzeżna, a zwłaszcza w morzach cieplejszych. Tu można podziwiać przeróżne formy roślin morskich, korali, mięczaków o wspaniale zabarwionych skorupach, je-

żowców, drążących otwory w skalistem wybrzeżu i w. i. Poniżej 500 m ustaje wpływ jednego z najważniejszych czynników, światła słonecznego. Wskutek tego zanika u zwierząt zmysł wzroku, a oczy ulegają zupełnemu przeobrażeniu i dochodzą do olbrzymich rozmiarów lub całkiem zanikają. W przeciwieństwie do rozmaitości w morzach płytkich, tutaj panuje jednostajność. Ta jednostajność fauny głębokomorskiej (abissycznej) jest wynikiem niezmiennej a nizkiej (od 0 do $+5^0$) temperatury, jaka panuje w głębiach bez względu na strefy klimatyczne. Nizka temperatura pociąga za sobą polarny charakter fauny abissycznej. Dalszą cechą głębin morskich jest starożytność fauny; znajdujemy tu żyjących przedstawicieli takich gatunków, które gdzieindziej dawno wyginęły i dziś należą do kopalnych. Niektóre z nich pojawiają się już w starszych utworach osadowych na ziemi. Im większa głębokość, tem mniej zwierząt może znosić brak światła i wzmagające się ciśnienie. Ze wzrostem głębokości ubożeje życie na dnie morza, a do największych głębin dochodzą tylko najniższe otwornice, t. zw. agglutynujące, które nie wydzielają skorupki wapiennej, ale ją zlepiają z ziarn mineralnych.

Skoro poznaliśmy osady, tworzące się obecnie na dnie głębokiego morza, nasuwa się pytanie, czy istnieją skały osadowe, które moglibyśmy uważać za utwory głębokomorskie z dawniejszych okresów geologicznych. Otóż nie znamy skały osadowej, któraby w zupełności odpowiadała osadom, nagromadzającym się obecnie w najgłębszych częściach oceanów. Niektóre skały osadowe są wprawdzie bardzo zbliżone do teraźniejszych utworów głębokomorskich i bez wątpienia osadzały się kiedyś w głębszych partyach oceanów, ale przy bliższem porównaniu okazują za wiele różnic, abyśmy je mogli nazwać prawdziwym utworem głębokomorskim. Jako utwór względnie najbardziej zbliżony do dzisiejszych osadów głębokiego morza przedewszystkiem zasługuje na uwagę biała kreda do pisania.

Wyniki badań nad osadami głębokich partyi oceanów przekonały, że skały, z których zbudowane są kontynenty, tworzyły się po największej części w morzu niezbyt głębokiem. Nieraz morze zalewało ogromne obszary dzisiejszych lądów (transgresye) i pokrywało je przez czas bardzo długi, zwłaszcza podczas wielkich transgresyi ery mezozoicznej. Ale z osadów, które pozostały po ustąpieniu transgresyi, możemy wnosić, że w obrębie dzisiejszych lądów, ilekroć zalewało je morze, zawsze było płytkiem. Miejscami tylko mogły się znajdować większe głębie i w nich to powstały te nieliczne skały osadowe, okazujące pewne podobieństwo do osadów głębokomorskich (np. niektóre utwory wapienne z ery mezozoicznej w Alpach). Pod wpływem tych wyników utwierdziło się przypuszczenie, że głębie oceaniczne i kontynenty są obszarami trwałymi, których położenie było wyznaczone już w najbardziej odległych okresach geologicznych i odtąd w najogólniejszych zarysach nie uległo zmianie.

Przy ocenianiu, czy jakaś skała osadowa powstała w morzu płytszem, czy też głębszem, najlepiej nadaje się sam charakter skały, t. j. materyał,

z jakiego się składa. Ta metoda mogłaby nas zawieść tylko w tych wypadkach, gdy późniejsze przemiany (metamorfizm) zupełnie zmieniły i zatarły pierwotny charakter skały osadowej. Bez porównania mniej pewnemi są wskazówki, jakich nam dostarczają skamieniałe szczątki organizmów. Pod wpływem ruchów wody w oceanach, przedewszystkiem prądów morskich, zwierzęta i rośliny mogą odbywać za życia lub po śmierci bardzo dalekie wędrówki. Stąd pochodzi, że resztki jakiegoś organizmu mogą zostać pogrzebane w osadach bardzo daleko od tych okolic, do których za życia były przywiązane. W osadach morskich blizko wybrzeży często znajdują się szczątki zwierząt lub roślin lądowych, przyniesione przez rzeki z głębi lądu. Prądy morskie unoszą na pełne morze nieraz ogromne masy roślin, rosnących w strefie przybrzeżnej, a wraz z niemi mogą wędrować zwierzęta, których byt jest najściślej związany z temi roślinami. Później szczątki zwierząt opadają na dno morza, zdala od okolic, w których żyły, i w ten sposób zostają pogrzebane w zupełnie odmiennych, nawet głębokomorskich osadach. Pewna część organizmów morskich nie może wykonywać samodzielnych ruchów, ale zawieszona w wodzie daje się porywać prądom, a te roznoszą je po wszystkich częściach morza, do których tylko sięgają. Tę grupę organizmów, której przedstawicielami są wspomniane już globigeriny, radyolarye i diatomeae, określamy wyrazem: plankton. Inne znowu zwierzęta żyją na dnie morskiem, bądź pełzając po niem, bądź też przytwierdzone doń trwale zapomocą odpowiednich narządów. Obejmujemy je nazwą: bentos. Niektóre z nich w pewnym okresie rozwoju są larwami; wówczas unoszą się bezwładnie w wodzie i z prądami odbywają wędrówki, a gdy tymczasem minie okres larwy, osiedlają się trwale na dnie morza, daleko od miejsca, z którego pochodzą. W ten sposób przebywają w krótkim czasie bardzo znaczne przestrzenie. Do bentosu należy przeważna część mięczaków, których skorupy, zachowane w osadach z dawniejszych okresów, odgrywają jako skamieniałości przewodnie bardzo ważną rolę przy ocenianiu wieku geologicznego skał osadowych. W tym względzie największe znaczenie posiada grupa mięczaków, zwana głowonogami (Cephalopoda), która w erze mezozoicznej osiągnęła największy rozwój. Część głowonogów posiada skorupę skręconą, która dzieli się na szereg komór. Z tych pierwsza jest mieszkaniem zwierzęcia, dalsze zaś pozostają wolne, wypełnione powietrzem. Dzięki tej właśnie okoliczności skorupa tych zwierząt jest bardzo lekką, po śmierci zwierzęcia wzbija się na powierzchnię morza i wędruje z prądami bardzo daleko, jak to widać na dwóch, dziś jeszcze żyjących przedstawicielach tej grupy mięczaków. Tak samo i skorupy dawniej żyjących głowonogów (np. ammonitów) bardzo szybko rozszerzały się po całym obszarze ówczesnych oceanów i dostarczały najcenniejszych i najpewniejszych skamieniałości przewodnich.

X.

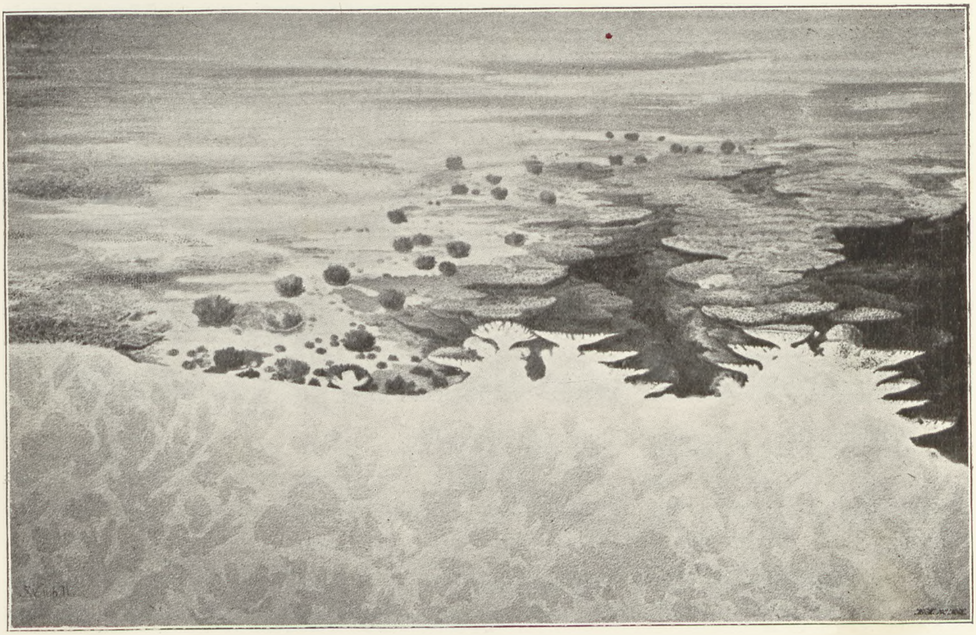
Geologiczne znaczenie świata organicznego nie polega jedynie na tem, że w rozmaitych skałach znajdujemy w mniejszej lub większej obfitości resztki zwierzęce i roślinne, które służą za podstawę do oceniania względnego wieku utworów osadowych. Skorupa ziemska składa się ze skał bardzo różnorodnego pochodzenia, a są wśród nich i takie, które albo powstały wyłącznie przy współudziale świata organicznego, jak np. przeważna część wapieni — albo też są rozłożoną i przeobrażoną materyą organiczną (np. węgle, nafta). Skały organicznego pochodzenia po największej części mają wielkie znaczenie ekonomiczne.

Woda chemicznie czysta nie występuje w przyrodzie, zawsze bowiem posiada pewną, chociażby bardzo drobną zawartość rozpuszczonych połączeń mineralnych. Nawet stosunkowo tak czysta woda, jak deszczowa, nie jest wolną od domieszki gazów i ciał stałych. Pomimo to oprócz jezior bezodpływowych, w których możemy obserwować osadzanie się soli, i oprócz niewielu źródeł mineralnych, nigdzie zresztą na ziemi nie znamy wody, którąby doszła do stopnia nasycenia i już więcej składników mineralnych nie mogła rozpuszczać. Woda morska, lub pochodząca ze źródeł gorących zawiera wprawdzie dużo rozpuszczonych substancyi, ale jest jeszcze daleką od granicy nasycenia. A jeżeli pomimo to widzimy, że nie tylko z morskiej wody, ale także z wód słodkich, śródlądowych wydzielają się składniki mineralne i jeżeli mamy dowody, że w ten sam sposób w ubiegłych epokach geologicznych osadzały się liczne i potężne skały — to jest dziełem świata organicznego.

Zwierzęta i rośliny, które zaludniają oceany, odznaczają się tą właściwością, że wydzielają z wody morskiej składniki mineralne i nagromadzają w swem ciele. Niektóre pierwiastki są zawarte w wodzie morskiej w tak drobnej ilości, iż nie znaleziono ich przy bezpośrednim rozbiorze, ale przekonano się o ich istnieniu, gdy poddano badaniu chemicznemu tkankę lub szkielety istot, żyjących w oceanach. Krzemionka i węglan wapniowy, który organizmy wytwarzają z rozmaitych połączeń wapniowych (głównie z gipsu), zawartych w wodzie morskiej, zostają zużyte na budowę skorup i szkieletów w tak wiel-

kiej ilości, iż po śmierci zwierzęcia lub rośliny nagromadzają się jako osad na dnie oceanów. Już przedtem [60]) widzieliśmy, jak w morzach tworzą się osady z resztek organicznych: ławice skorup w pasie przybrzeżnym lub szlam organiczny w wielkich głębiach, składający się niemal wyłącznie z drobnych skorupek otwornic lub szkieletów alg. Wśród zwierząt, które wydzielają z wody oceanów węglan wapniowy w ogromnych masach i w ten sposób przygotowują przyszłe skały wapienne, pierwsze miejsce zajmują korale.

Korale dzielą się na wiele gatunków, które pojawiają się na dnie mórz [61]) w rozmaitej głębokości i w każdej strefie klimatycznej. Jedne korale żyją

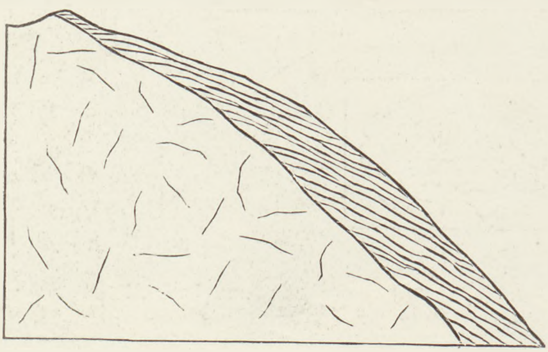


Przekrój rafy koralowej i życie na jej powierzchni. (Według J. Walthera.)

w małych, odosobnionych koloniach, jak np. czerwono ubarwiony koral szlachetny w Morzu Śródziemnem — innych znowu kolonie łączą się w całe rafy i te właśnie mają w geologii wielkie znaczenie, ponieważ ze swych szkieletów budują ogromne skały wapienne. Występowanie korali, żyjących gromadnie w rafach, jest ściśle przywiązane do pewnych warunków. Przedewszystkiem wymagają wody słonej i czystej, niezamąconej przez szlam, który jest dla nich zabójczym. Jeżeli rafa koralowa tworzy jakby wał wzdłuż wybrzeży lądu, to w pobliżu ujścia rzeki ten wał nagle się przerywa, bo w tem miejscu woda jest zamąconą przez roztarte okruchy skał i z powodu znacznej domieszki wody słodkiej daleko mniej słoną, niż w otwartem morzu. Dalszym warunkiem istnienia korali rafowych jest woda ciepła, nie oziębiająca się poniżej 20° C

i dlatego są ograniczone wyłącznie do strefy zwrotnikowej. Korale rafowe potrzebują wiele światła i wody ruchliwej, bezustannie ożywianej przez prądy lub fale, któreby przynosiły ciągle świeży zapas pożywienia. To też mogą żyć jedynie w najwyższej warstwie wody, najdalej do 40 m głębokości.

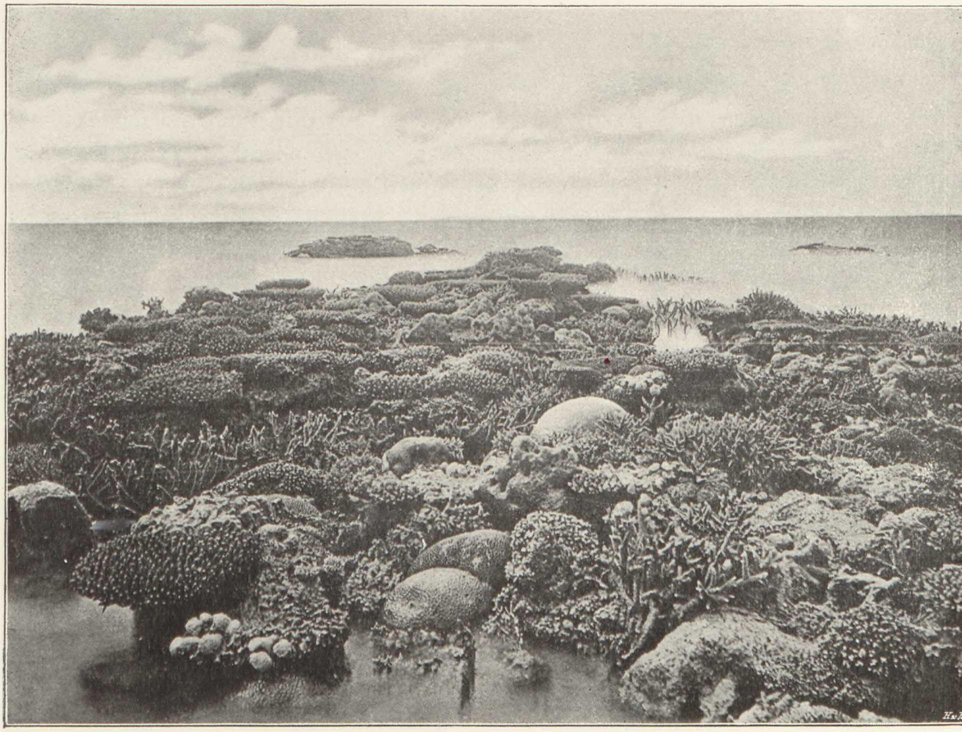
Kształt wapiennych szkieletów, budowanych przez kolonie korali, przedstawia ogromną rozmaitość. Są między nimi jakby krzaczki, słupki, miseczki lub kule, inne znowu przybierają postać grzyba i parasola, albo też tworzą powłokę na skale podmorskiej. Dzięki takiej rozmaitości życie na rafie koralowej przedstawia jeden z najpiękniejszych i najróżnobarwniejszych widoków, jaki w przyrodzie można spotkać. J. Walther tak kreśli obraz, jaki się roztacza na powierzchni rafy koralowej w Morzu Czerwonem: »Ugrupowanie korali na rafie da się najlepiej porównać z parkiem. Pomiędzy grupami kwitnących krzewów i pstremi grządkami kwiatów wiją się ścieżki, wysypane piaskiem; jużto zwężają się pomiędzy wysokimi krzakami, a czasem także prowadzą do cienistej groty, już też rozszerzają się w place, pokryte żwirem. Zupełnie tak samo zachowują się pstre kolonie korali wobec przestrzeni, zajętych przez ich okruchy białej barwy. Wewnątrz rafy błądzi się po plączystych drożynach pomiędzy płaskiemi grządkami korali«.



Warstwowanie płaszczowe u stoku rafy koralowej.

Gdziekolwiek w strefie gorącej sterczy w niewielkiej głębokości podmorska skała, tam zaraz zagnieżdżają się korale. Pojedyncze osobniki zrastają się i łączą w kolonię, a są czasem tak silnie zbudowane, iż długo stawiają opór uderzeniom młotka. W ten sposób powstają rafy koralowe, które z płaskiego dna morskiego wznoszą się jako bardzo wysokie skały wapienne o stromych stokach. Dokoła rafy układają się stromo, ale zawsze łagodniej niż stoki samej rafy, nachylone warstwy roztartych okruchów korali i otulają ją dokoła jakby płaszczem (warstwowanie płaszczowe). Aby mieć jak najwięcej światła, korale dążą w górę i wreszcie rafa wynurza się ponad zwierciadło wody jako wyspa koralowa. Wyspy koralowe wznoszą się do tak małej wysokości ponad poziomem morza, iż dopiero z blizka można je dojrzeć i stąd już od dawna znane były żeglarzom jako »nizkie« wyspy. Są trudno dostępne, gdyż w ich pobliżu dno morza jest płytkie i najeżone niewidocznemi rafami podwodnemi, bardzo niebezpiecznemi dla większego statku.

»Pierwszy widok nizkiej wyspy przedstawia się jako cienka, ciemnozielona wstęga, która oddziela ciemny błękit nieba od jeszcze ciemniejszego



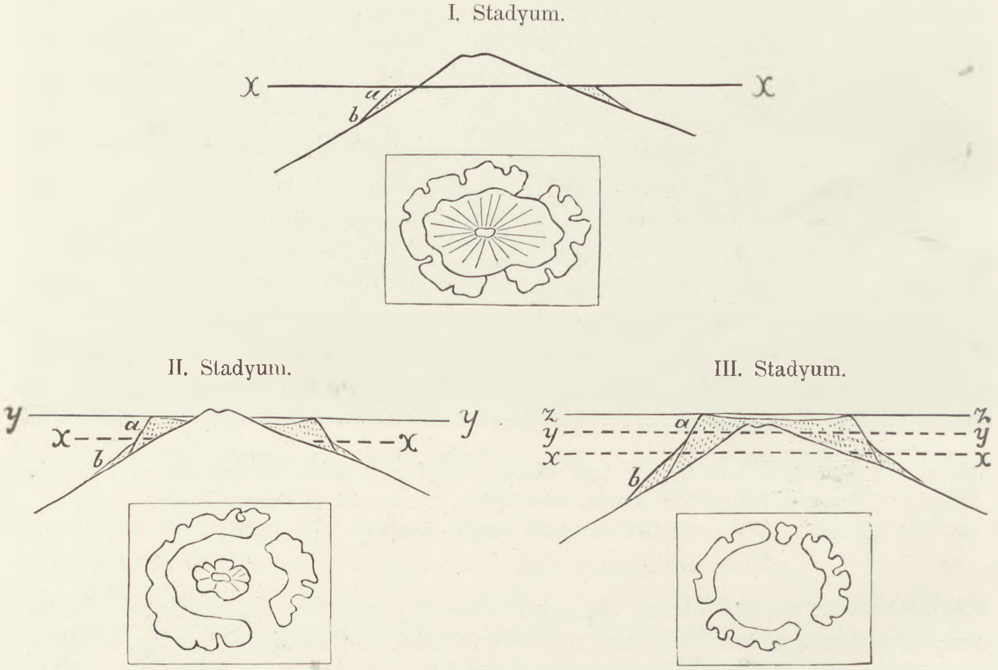
Widok rafy koralowej koło wyspy Low Woody Island przy północno-wschodniem wybrzeżu Australii (około 15° połudn. szerokości), t. zw. »Great Barrier Reef«. (Według W. Saville-Kenta.)

błękitu morza; za zbliżeniem się pas blado-żółty wynurza się poniżej ziel[illegible]o, a zaraz potem wysuwa się smuga o śnieżno-białej, olśniewającej barwie, w [illegible]rej wnet można rozpoznać grzbiet spienionych fal, znaczących granicę morza. Gdy się żegluje coraz bliżej, pas blado-żółty staje się brzegiem wyspy, a zielona wstęga zamienia się w nadzwyczaj bujną roślinność, ponad którą pierzaste korony smukłych palm kokosowych, strzelające do 80 stóp wysokości, ociężale kołyszą się za powiewem wiatru od morza...

»Doświadczenie wnet nauczyło żeglarzy z obawą unikać wybrzeży, o które uderza wzburzone morze, gdyż nie mogą znaleźć miejsca do zarzucenia kotwicy w odpowiedniej odległości od niespokojnych wybrzeży, stoki bowiem wyspy opadają do wielkiej głębokości nagle, w obrębie kilkuset metrów od brzegu; a na tej przestrzeni rafa, zbudowana z ostrych i poszarpanych skał, tworzy dno płytkiego morza. Tylko łódź zapędza się i przemyka ponad nią...

»Pełna niebezpieczeństw po zewnętrznej stronie, w swem wnętrzu wyspa kryje obszerną zatokę czyli lagunę, do której okręt po niebezpiecznej przeprawie może się dostać i po której spokojnie płynie nawet w czasie najstraszniejszej

burzy. Wyspa tem się różni od wielu innych, że w samym środku jest wydrążona; skalisty brzeg odcina od morza jezioro, którego średnica wynosi 60 a nawet 100 mil, głębokość zaś do 100 metrów, najczęściej jednak 40 metrów. Z powodu tej właściwości wyspy znane są nie tylko pod nazwą »nizkich«, ale także »lagunowych«. Wybrzeże laguny jest otoczone równą, lekko nachyloną ławicą czerwonego piasku, po której łagodnie toczą się fale; palmy i krzewy podobne do wawrzynu rosną tuż ponad zwierciadłem wody i odbijają się w jej kryształowym brzegu« (Sollas).



Pionowe i poziome przekroje wyspy koralowej w rozmaitych stadyach rozwoju według teoryi K. Darwina. *a,* wapień koralowy; *b,* stożek okruchów wapiennych; *x, y, z,* poziom morza.

Wewnętrzna laguna jest charakterystycznym rysem, który wyróżnia wyspy koralowe od wszystkich innych [62]), a jej powstanie jest następstwem warunków, wśród jakich tworzą się rafy koralowe. Od dawna przekonano się, że wyspy koralowe wznoszą się jako góry podwodne z wielkiej głębokości i są w całości zbudowane z wapienia koralowego. Później jednak zauważono, że korale rafowe mogą żyć tylko do niewielkiej głębokości pod poziomem morza. Jedno i drugie spostrzeżenie przez długi czas pozostawały ze sobą w jaskrawej sprzeczności, aż dopiero Darwin je pogodził, tłómacząc powstawanie wysp koralowych w następujący sposób:

Dokoła wyspy, w obrębie tej najwyższej warstwy wody, do której ogra-

niczonem jest życie korali rafowych, tworzy się rafa koralowa i otacza ją jakby wieniec (I. stadyum). Ażeby teraz rafa koralowa mogła się stawać coraz grubszą, do tego koniecznie potrzeba powolnej a stałej zmiany poziomu morza. Jeżeli poziom morza wznosi się, czyli wyspa zapada się coraz głębiej pod powierzchnię wody, w takim razie korale mogą posuwać się w górę i budować coraz grubszą rafę, podczas gdy niżej położone korale dostają się do zbyt wielkiej głębokości i obumierają. Właśnie co do Oceanu Spokojnego, gdzie znajduje się najwięcej wysp koralowych, mamy wszelką podstawę przypuszczać, że wiele wysp znikło już pod powierzchnią wody, a inne przedstawiają jeszcze nie całkiem zatopione resztki daleko większych. Po zewnętrznej stronie rafy morze jest bardzo ruchliwe; tutaj korale mają najdogodniejsze warunki bytu i najprędzej się rozwijają. To też, gdy poziom morza przesunął się w górę, obszar pierwotnej wyspy znacznie zmalał, a między nią a wałem istnieje szeroki pas wody, połączony z zewnętrznem morzem przez przerwy w rafie (II. stadyum). Wreszcie przy dalszem wznoszeniu się poziomu morza znika wszelki ślad owej pierwotnej wyspy, która dała podstawę do zagnieżdżenia się kolonii koralowych, a pozostaje wyspa koralowa w kształcie pierścienia, zwana atolem, i zamyka w swem wnętrzu jezioro czyli lagunę. Przerwy w rafie utrzymują komunikacyę między wodą laguny a morzem (III. stadyum).

Długi czas upłynął, zanim słuszność poglądu Darwina stwierdzono i uznano. Przeciwnicy Darwina utrzymywali, że wyspy koralowe tylko u samego wierzchu są zbudowane z wapienia koralowego, a pod nim ma się znajdować podmorski stożek wulkaniczny, otoczony dokoła okruchami korali, zmieszanymi z organicznym szlamem wapiennym. Aby ten spór ostatecznie rozstrzygnąć i przekonać się, z jakiego materyału są zbudowane rafy koralowe w głębi, postanowiono dokonać głębokiego wiercenia na wyspie koralowej. Do tego celu obrano Funafuti, jedną z grupy wysp Ellice (Lagoon), która to grupa jest położoną w środku Oceanu Spokojnego[63]) i składa się z wielu bardzo do siebie podobnych a typowo zbudowanych atolów. Wiercenie rozpoczęto 3 czerwca 1896, a po pokonaniu zrazu wielu trudności i niepowodzeń, 6 września 1898 świder osiągnął głębokość 300,8 m, a więc mniej więcej dziesięć razy większą od tej, do jakiej ogranicza się życie korali rafowych. Na tej całej przestrzeni napotkano jedynie zbity i twardy wapień, zawierający dobrze zachowane szkielety korali bez najmniejszego śladu materyału wulkanicznego i w ten sposób stwierdzono zupełną rzetelność przypuszczenia Darwina.

Jeżeli poziom morza opada, czyli ląd wynurza się ponad powierzchnię wody, wtedy korale nie mogą budować potężnych raf. Natomiast w miarę, jak coraz więcej dna morskiego staje się płytkiem, korale rozszerzają swe kolonie, zajmują coraz większy obszar i tylko cienką powłoką pokrywają skały (np. w Morzu Czerwonem).

Korale potrzebują dużo światła i dlatego ich krzaczyste szkielety dążą ku górze, ku powierzchni morza, a między niemi pozostają przerwy, podobnie jak

pomiędzy drzewami w lesie. Wskutek tego powierzchnia rafy jest nierówną, a jej zwięzła budowa okazuje liczne nieregularne zagłębienia i wydrążenia. Jedne z nich zostają zasypane przez okruchy wapienne, inne znowu zachowują się niewypełnione i będą kiedyś tworzyć szczeliny i pieczary w skale wapiennej.

Korale budujące rafy mogą się zagnieździć tylko na nieruchomej skalistej podstawie. Do niej są trwale przyrośnięte i wskutek tego nie mogą zmieniać miejsca celem wyszukania sobie pożywienia, ale są zdane na łaskę fal morskich. To też niezbędnym warunkiem bytu korali jest morze bardzo ruchliwe, ożywione prądami, które ciągle dostarczają obftego zapasu świeżej żywności. Im silniej fale uderzają o zewnętrzny brzeg rafy, tem prędzej wzrastają korale, bo tem więcej otrzymują pożywienia. Wprawdzie fale odbijają od brzegu mnóstwo brył, ale wzrost korali postępuje tak szybko, iż strata wskutek niszczenia przez bijące fale morskie zostaje wkrótce wyrównaną i zewnętrzna krawędź rafy koralowej wysuwa się coraz dalej w morze. Korale rozwijają się i rozszerzają coraz bardziej na zewnątrz rafy, a tymczasem w środku obumierają. Zaraz zwierzęta morskie, których niezwykłem bogactwem i rozmaitością odznaczają się rafy koralowe, rozpoczynają swą pracę nad niszczeniem wapiennych szkieletów. Skałotocze (Lithodomus) wcinają głęboko swe skorupy w kielichy korali, niektóre robaki (pierścienice, Annelida) drążą w nich długie, kręte chodniki, ryby uzbrojone w silne zęby rozgryzają wapienne okruchy — ale największe spustoszenia sprawiają miliony nienasyconych raków morskich czyli krabów. Przy pomocy silnych nożyc z podziwienia godną zręcznością odłamują i kruszą kawałki obumarłych szkieletów koralowych, aby wydobyć chociażby najdrobniejszą cząstkę pożywienia. Żadna resztka organiczna na dnie morza nie ostoi się długo przed żarłocznością krabów i podobnemu losowi, jak kielichy nieżywych korali, ulegają także szkielety i skorupy innych zwierząt, zaludniających powierzchnię rafy, mięczaków, mszywiołów, gąbek i. t. d. Dalsze dzieło zniszczenia prowadzą fale morskie, otaczają i mielą większe okruchy i drobny, kańczasty piasek wapienny, nad którego utworzeniem pracowały raki morskie i inne zwierzęta. W otoczeniu rafy koralowej woda zawiera dużo roztartego szlamu wapiennego i często mleczną barwą już zdala zdradza blizkość wyspy koralowej. Posuwając się po rafie koralowej od jej krawędzi ku środkowi, coraz mniej spotykamy żyjących korali, a na ich miejsce coraz więcej okruchów i wreszcie całkiem znika ów piękny obraz, jaki się przedstawiał na powierzchni żyjącej rafy. Z delikatnie zbudowanych kielichów i gałązek korali potworzyły się masy bezkształtnych okruchów, a struktura organiczna osadów wapiennych bardzo szybko zanika. Ta okoliczność, a także i zmiany późniejsze są przyczyną, że w wielu kopalnych rafach wapiennych rozmaitego wieku geologicznego tak mało można spotkać resztek korali.

Ruchy wody morskiej roznosiłyby okruchy wapienne na wszystkie strony, gdyby nie rozgałęzione szkielety korali. Jak korzenie stepowych roślin zatrzymują i wiążą pył, unoszony wiatrem — tak samo krzaczyste gatunki korali na-

dają zwięzłości piaskowi wapiennemu i sprawiają, że tak luźny materyał nie rozpościera się równomiernie na dnie morza, ale po większej części pozostaje w obrębie rafy i przyczynia się do jej podwyższania. Gałązki korali tworzą jakby szkielet rafy, a w przestrzeniach wolnych pomiędzy niemi nagromadzają się pokruszone skorupy mięczaków i odłamki kielichów korali. Tylko mała część tego luźnego materyału wapiennego zatrzymuje się na stromych stokach rafy, lub osadza na dnie morza w niewielkiej odległości.

Rafa koralowa niemal całkowicie składa się z materyału wapiennego, a mianowicie ze szkieletów korali i okruchów rozmaitej wielkości, od wielkich brył aż do najdrobniejszego miału. Często prądy morskie przynoszą na rafę koralową materyał pochodzący z wybuchów wulkanów, a mianowicie bardzo porowate i lekkie żużle, które unoszą się na powierzchni wody i mogą odbywać daleką wędrówkę. W klimacie podzwrotnikowym rozkład żużli wulkanicznych daje osad czerwono zabarwiony, który miesza się z osadami wapiennymi i tworzy ich zanieczyszczenie. Gdy rafa wynurzy się jako wyspa ponad wodę, wówczas wapień zostaje wypłukany przez wody atmosferyczne, a nierozpuszczalna pozostałość nagromadza się jako czerwona ziemia (terra rossa), która jest utworem charakterystycznym dla wysp koralowych.

Z innych zwierząt morskich, które wydzielają węglan wapniowy w większej ilości, wymienić wypada mszywioły (Bryozoa). Pasmo Miodoborów jest taką rafą mszywiołową, która utworzyła się z końcem epoki mioceńskiej.

Obok zwierzęcego, także świat roślinny odgrywa ogromną rolę przy tworzeniu się skał. Przedewszystkiem zasługują na uwagę algi (wodorosty, glony), które wydzielają krzemionkę lub węglan wapniowy. Np. alga Lithothamnium pojawia się w płytkich morzach i tworzy osady wapienne w strefie przybrzeżnej. Także w rafach koralowych spotykamy Lithothamnium i inne jeszcze algi, które nagromadzają węglan wapniowy.

Algi są jedynym organizmem, jaki pojawia się w wodzie źródeł gorących i znosi wysoką temperaturę. Znaleziono je nawet w wodzie źródeł gorących o temperaturze $+93^0$ C. Gdzie woda, wypływająca z gorących źródeł lub gejzerów, zbiera się na powierzchni, tam rozmnażają się algi barwy zielonej, brunatnej, czerwonej, pomarańczowej lub żółtej. Obfitość ich bywa nieraz tak wielką, iż zdala można poznać ich istnienie po jaskrawem zabarwieniu wody i wydzielających się z niej osadów. W wodzie niemal wszystkich źródeł gorących wykryto rozmaite rodzaje alg i przekonano się, że przy ich pomocy tworzą się osady wapienne i krzemionkowe. Algi wydzielają składniki wody gorącej, a gdy same zginą i ulegną rozkładowi, pozostaje osad wapienny lub krzemionkowy, który składa się z drobnych kuleczek lub delikatnych włókien.

Innym rodzajem alg są diatomee (okrzemki), bardzo rozpowszechnione nie tylko w morzach, ale i w zbiornikach wody słodkiej. Z wody wydzielają krzemionkę i z niej budują swe szkielety, które później nagromadzają się jako pokłady ziemi okrzemkowej. Tego rodzaju utwory, jak trypla lub łupek szli-

fierski, występują wśród skał młodego wieku geologicznego, a mianowicie trzeciorzędnego i jeszcze późniejszego. Prawdopodobnie w taki sam sposób powstał lidyt, który znajduje się w starych skałach osadowych i swą ciemną barwę zawdzięcza znacznej zawartości węgla.

Nieraz rośliny (np. mchy) zużywają kwas węglowy, zawarty w wodzie źródeł. Jeżeli woda posiada większą zawartość rozpuszczonego wapienia, to wskutek odebrania kwasu węglowego węglan wapniowy musi się wydzielać



»Ostra Skała« w Miodoborach, na wschód od Grzymałowa. (Według fotogr. zdjęcia autora.)

i albo osadza się we wnętrzu komórek, albo też powleka rośliny skorupą wapienną. Później tkanka roślinna rozkłada się, a pozostaje porowaty osad wapienny (trawertyn), który wiernie oddaje łodygi i liście roślin.

Widzieliśmy dawniej [64]), jak trudno o zachowanie się resztek zwierzęcych na lądzie i dlatego nie dziw, że przy tworzeniu się skał zwierzęta lądowe w porównaniu z morskiemi tak mały mają udział. Przy sprzyjających warunkach mogą nagromadzać się pokłady kości i tego rodzaju utwory (t. zw. »bone-

bed«) znamy z ubiegłych epok geologicznych. Odchody zwierząt, a zwłaszcza ptaków, które jako guano całymi pokładami pokrywają nagie, skaliste wyspy i wybrzeża Ameryki Południowej, prawdopodobnie odgrywały ważną rolę przy tworzeniu się skał, zawierających dużo połączeń fosforowych (np. fosforyty).

Materya organiczna, tak zwierzęca jak i roślinna, która zostaje zasypana przez osady piasku lub szlamu i pod ich ciężarem ulega rozkładowi i przeobrażeniu, dostarcza materyału na tworzenie się skał. Z takich nagromadzeń materyi organicznej, głównie roślinnej, pochodzą związki węgla z wodorem czyli węglowodory, które występują w przyrodzie w stanie stałym (asfalt, wosk ziemny czyli ozokeryt), ciekłym (nafta) i gazowym. Te utwory wypełniają drobne pory w skałach osadowych, powodują ich ciemne zabarwienie i nadają charakterystycznej woni bitumicznej — albo też wypełniają większe szczeliny i tworzą samoistne pokłady lub zbiorniki podziemne.

Występowaniu węglowodorów w przyrodzie często towarzyszą źródła gazów bezustannie płonących (»święte ognie« nad Morzem Kaspijskiem). Również w sąsiedztwie nafty (Rumunia, Kercz, Baku) pojawiają się wulkany błotne (salsy), które gwałtownie wyrzucają z głębi ziemi wodę, zmieszaną ze szlamem, a które później poznamy jako objaw rozkładu materyi organicznej, pogrzebanej pod grubą warstwą osadów. Prawie zawsze razem z naftą występują źródła słonej wody.

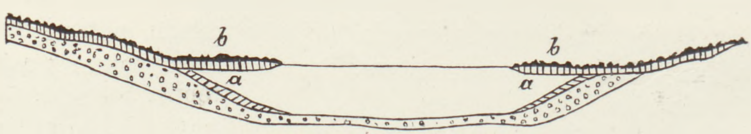
Najlepszym przykładem nagromadzania się gnijących resztek roślin w epoce obecnej są moczary. Pierwszym warunkiem powstawania bagien jest brak należytego odpływu wody. Zdarza się to tam, gdzie znajduje się jakieś naturalne zagłębienie, lub gdzie okolica jest tak płaską i równą, iż wody nie mogą swobodnie odpływać, zawsze jednak muszą w niewielkiej głębokości pod moczarem występować warstwy nieprzepuszczalne, które nie pozwalają wodzie wsiąkać w głąb. W wodach stojących rozwija się bujna roślinność [65]), od brzegów rozszerza się coraz bardziej i z czasem zupełnie pokrywa powierzchnię wody. Na tem polega zdradliwość trzęsawisk głębokich, a tak gęsto zarośniętych, iż człowiek zapędza się daleko i dopiero za późno poznaje grożące niebezpieczeństwo. Szczątki roślin opadają na dno bagna i tam gniją bez przystępu powietrza, a o rozkładzie świadczą bańki gazu błotnego, które bez przerwy ukazują się na powierzchni wody. W ten sposób z materyi roślinnej tworzy się na dnie bagien masa ciemna, poprzegradzana warstewkami piasku lub namułu, które od czasu do czasu osadzają się z wezbranych wód, spływających do bagna. Czasem jednak szczątki roślin nie tworzą osobnych warstw, ale mieszają się z osadami. W takim razie powstają skały, jak iły lub piaskowce bitumiczne, które zawierają wiele połączeń organicznych i odznaczają się ciemnem zabarwieniem.

Z bagien, w których odbywa się rozkład materyi roślinnej, największe

znaczenie mają torfowiska, zarośnięte przeważnie przez mchy torfowe. Mchy rosną coraz dalej w górę, a tymczasem od dołu zaczynają zamierać i ulegają rozkładowi. Im głębiej, tem bardziej rozłożoną i przemienioną znajdujemy materyę organiczną i wreszcie w pewnej głębokości pojawia się torf jako masa ciemna i zbita, która po wydobyciu i wysuszeniu dostarcza materyału opałowego.

W górskich torfowiskach mchy wyrastają nieraz tak wysoko, iż tworzą wypukłość i jakby poduszka sterczą ponad swem otoczeniem. Pomimo to zwięzła roślinność sprawia, że woda, zamiast spływać, przez długi czas może się zatrzymywać w wypukłem torfowisku. Czasem jednak w porze wilgotnej roślinność nie może wytrzymać zbyt silnego nacisku wody, która nagle rozrywa brzeg torfowiska, zmieszana z namułem rozlewa się szerokim strumieniem i pustoszy okolicę. Takie wypadki zdarzają się szczególnie często w Irlandyi, która słynie z największych torfowisk.

Rozległe bagna, t. zw. »swamp'y«, zajmują Florydę i sąsiednie okolice Stanów Zjednoczonych. Na brzegach niezliczonych jeziorek rozwijają się mchy i stąd posuwają się coraz dalej ku środkowi. Z czasem przeważna część je-



Przekrój jeziorka w swampach. (Według Shalera). *a*, szczątki roślin; *b*, mchy.

ziorka pokrywa się grubą warstwą rosnących mchów i tylko w środku pozostaje otwarta powierzchnia wody. Szczątki roślin po części unoszą się na powierzchni wody i ułatwiają mchom rozszerzanie się na coraz większy obszar, po części zaś opadają na dno i pokrywają je grubą warstwą. Na brzegach rosną gęsto cyprysy (Taxodium distichum), a obok nich także klony, magnolie, sosny, jałowiec i i. Rośliny pnące swymi splotami wiążą drzewa i tworzą nieprzebitą gąszcz, przez którą trzeba czasem siekierą torować sobie drogę.

Nagromadzenia resztek roślinnych tworzą się także w gęstych lasach, gdzie promienie słońca rzadko dochodzą, a powietrze zawiera dużo wilgoci. Liście, gałęzie i powalone drzewa padają na ziemię i gniją pod osłoną cienistych drzew.

W bagnach, torfowiskach i lasach nagromadzają się resztki roślin, które kiedyś na tem samem miejscu rosły. Zdarza się jednak, że masy roślin zostają porwane przez prąd wody i dopiero u ujścia rzeki do morza osadzają się wraz z warstwami namułu. Delty wielu rzek, np. Padu, Gangesu i Mississippi, są usypane z warstw piasku i szlamu, pomiędzy któremi często powtarzają się grube wtrącenia nawpół zwęglonych roślin. W dziewiczych lasach okolic podzwrotnikowych pnie i gałęzie drzew staczają się do koryta rzeki w takiej

ilości, że mogą na pewien czas bieg zatamować. Tak np. górny Nil podczas wysokiego stanu wody unosi masę resztek roślinnych, które w łożysku zbijają się w potężne wały i przez jakiś czas tamują bieg rzeki. Gdy rzeka nareszcie przerwie taką zaporę, porywa całą masę drzewa i osadza u ujścia do morza. Rzeki sybiryjskie, przepływając przez lasy modrzewiowe, zabierają wiele drzewa i unoszą do Morza Lodowatego. Szczątki spławionych drzew, po części już rozłożone, zbierają się wzdłuż wybrzeży lądu i wysp i jako ciemne smugi zdala są widoczne.

Podobnie jak obecnie, i w ubiegłych okresach geologicznych nagromadzały się szczątki roślin, a z ich rozkładu i przemiany utworzyły się z czasem pokłady węgla, poprzegradzane warstwami utworów ilastych lub piaszczystych. Jedne pokłady węgla powstały z substancyi roślinnej, która została spławioną przez rzeki z odległych okolic i osadzoną u ujścia do morza lub w jeziorach śródlądowych, inne znowu pochodzą z resztek roślin, które nagromadzały się na tem samem miejscu, gdzie niegdyś rosły, jak w dzisiejszych torfowiskach. Pierwsze nazywamy allochtonicznymi, drugie autochtonicznymi. Allochtoniczne pokłady węgla odznaczają się tem, że bardzo często następują po sobie naprzemian cienkie warstewki węgla i iłu, rzeki bowiem tylko podczas powodzi przynosiły większe transporty drzewa, a między jedną a drugą powodzią osadzały sam namuł u ujścia do morza lub jeziora. W niektórych kopalniach naliczono po kilkadziesiąt cienkich pokładów węgla, następujących po sobie w kierunku pionowym. Obszar, na jakim rzeka osadza u ujścia szczątki roślin, jest bardzo mały i dlatego allochtoniczne pokłady węgla są ograniczone do niewielkiej przestrzeni, a ich grubość i kierunek szybko się zmieniają. W przeciwieństwie do tego autochtoniczne pokłady ciągną się na ogromnych obszarach bez żadnej przerwy lub zmiany w grubości i w stałym kierunku. W warstwach iłu, towarzyszących pokładom węgla autochtonicznego pochodzenia, bardzo często znajdują się pnie w naturalnem, pionowem położeniu.

Pod względem wartości ekonomicznej autochtoniczne złoża węgla mają ogromną wyższość nad allochtonicznymi. Pokłady są grubsze i ciągną się jednostajnie na wielkim obszarze, a stałość kierunku umożliwia ich odszukanie nawet w znacznem oddaleniu.

Rozkład materyi roślinnej, spoczywającej na dnie bagien lub pod warstwą osadów, odbywa się bez przystępu powietrza. Rozkładowi materyi roślinnej towarzyszy wydzielanie się gazów, a mianowicie połączeń węgla (C) z tlenem (O) lub z wodorem (H). Gdzie gazy nie mogą swobodnie uchodzić, tam zbierają się w szczelinach pod silnem ciśnieniem i pozostają uwięzione przez bardzo długi przeciąg czasu. Nieraz dopiero po upływie wielu okresów geologicznych, gdy szczątki roślin przemieniły się już w węgiel, po który górnik spuszcza się w głąb ziemi, wydobywają się nagle i gwałtownie. Najczęściej przyczyną wielkich nieszczęść bywa gaz błotny [66]), który z tlenem powietrza atmosferycznego daje mieszaninę wybuchającą. Wskutek uchodzenia gazów zmniejsza się obję-

tość materyi roślinnej, ale równocześnie podnosi się zawartość czystego węgla (C). Im starszym jest wiek jakiegoś węgla kopalnego, tem więcej zawiera czystego węgla (C) i tem lepszy jest w użyciu.

Czas nagromadzania się	Rodzaj węgla	C	H	O po części N
Epoka obecna	Drzewo	50	6	44
Epoka dyluwialna	Torf	60	6	34
Epoka dyluwialna Okres trzeciorzędny	Lignit	67	6	27
Okres trzeciorzędny	Węgiel brunatny	75	5	20
Okres węglowy	Węgiel kamienny	83	5	12
Okres węglowy Okres dewoński Okres sylurski	Antracyt	94	3	3
Era eozoiczna	Szungit	98	1	1
	Grafit	100	0	0

Z powyższego zestawienia widać, jak w miarę zagłębiania się w coraz starsze utwory, spotykamy coraz dokładniej rozłożone nagromadzenia materyi roślinnej. Jeżeli np. mamy pokład substancyi roślinnej na 12 m gruby, to z tego może się utworzyć warstwa węgla kamiennego na 1,5, lub antracytu na 1 m gruba. Torf i lignit doskonale okazują tkankę roślinną. Węgiel brunatny i kamienny zawierają szczątki i odciski roślin, ale ich ustrój organiczny nawet pod mikroskopem nie zawsze da się wykryć. Antracyt przedstawia tak dalece przeobrażoną materyę roślinną, iż po strukturze nie można rozpoznać pochodzenia organicznego, a z utworzeniem się grafitu proces zwęglenia dochodzi do ostatecznego kresu.

W utworach rozmaitego wieku geologicznego znajdują się złoża węgli, ale największe i najważniejsze pokłady tworzyły się w czasie okresu karbońskiego (węglowego), który od nich otrzymał swą nazwę. Piaskowce i iły, towarzyszące pokładom węgla kamiennego, dostarczyły niezliczonych resztek, które dają pojęcie o niezwykłej bujności i wspaniałości ówczesnego świata roślin. Roślinność okresu karbońskiego odznacza się przedewszystkiem nad-

zwyczajnym rozwojem roślin skrytokwiatowych, a mianowicie paproci (Neuropteris, Pecopteris, Psaronius), widłaków (Sigillaria, Lepidodendron) i skrzypów (Calamites, Annularia). Wówczas były to olbrzymie drzewa, wobec których przedstawiciele tych rodzin w epoce obecnej są karłami i zajmują podrzędne miejsce w dzisiejszym świecie roślinnym. Przeważnie z ich resztek tworzyły się pokłady węgla kamiennego. W daleko mniejszej ilości występują w okresie karbońskim rośliny nagonasienne, jak rodzaj palmy sagowej (Cordaites) lub drzewa szpilkowe (Araucarites). Brak zaś było wówczas jeszcze zupełnie drzew



Idealny obraz lasu w okresie węglowym. (Według Potoniégo.)

liściastych, które pojawiały się dopiero znacznie później na ziemi i wśród dzisiejszych roślin zajmują pierwszorzędne stanowisko.

Bujna roślinność świadczy, że klimat okresu karbońskiego był bardzo wilgotny, a zarazem jednostajnie ciepły, bez większych zmian temperatury. Geograficzne rozmieszczenie utworów karbońskich, kryjących szczątki ówczesnych roślin, wskazuje, że podczas okresu karbońskiego musiały panować na całej ziemi jednakowe stosunki klimatyczne [67]).

Najbogatsze na ziemi złoża węgla kamiennego posiadają północne Chiny w prowincyi Szansi. Tam na przestrzeni 34.870 km^2 [68]) ciągnie się bez przerwy kilka pokładów antracytu, z których główny osiąga znaczną, bo 6—9 m wynoszącą grubość. Richthofen ocenił zapas samego antracytu na przynajmniej

630 miliardów ton, a drugie tyle ma przypadać na węgiel bituminiczny. Po Chinach idą Stany Zjednoczone Ameryki Północnej, gdzie według dotychczasowych obliczeń pokłady węgla kamiennego mogą jeszcze dostarczyć około 673 miliardów ton i prawdopodobnie nie wyczerpią się przed upływem 640 lat. Frech (1900) zajął się obliczeniem, na jak długo powinny wystarczyć zapasy węgla kamiennego w państwach europejskich, jeżeli produkcya będzie wzrastała w tej samej mierze, co dotąd. Oto wyniki, do jakich Frech doszedł:

1. Środkowa Francya, środkowe Czechy, Saksonia, północna Anglia (Durham, Northumberland)	100—200 lat.
2. Pozostałe złoża w Anglii, północne Czechy, północna Francya	200—350 lat.
3. Złoża nadreńskie i belgijskie	600—800 lat.
4. Górny Śląsk, Królestwo Polskie i Morawa	przeszło 1000 lat.

Do rzędu minerałów, powstałych z materyi roślinnej, należy bursztyn. W czasie epoki oligoceńskiej lasy szpilkowe pokrywały znaczną część północnej Europy. Kawałki żywicy, która wyciekała z owych drzew (głównie Peuce succinifera), zostały pogrzebane w osadach, wówczas się tworzących i z nich to powstał bursztyn. Dziś fale Morza Niemieckiego i Bałtyku niszczą utwory oligoceńskie, a lekkie kawałki bursztynu unoszą i rozrzucają po wybrzeżach. W bursztynie doskonale zachowały się liczne owady, które roiły się w lasach oligoceńskich i przylepiały do żywicy, spływającej z drzew. W daleko mniejszej obfitości pojawia się bursztyn także w warstwach trzeciorzędnych w innych okolicach, jak np. w utworach mioceńskich koło Lwowa.

W podobny sposób z żywicy drzew tworzy się kopal, który znamy z wschodnich i zachodnich wybrzeży Afryki.

W ostatnich czasach przekonano się, że i najdrobniejsze twory organiczne, bakterye, w wielu zjawiskach geologicznych bardzo ważną grają rolę. Wszędzie ich pełno: w ziemi ornej, w wodzie jezior słonych i w osadach na dnie oceanów. Bakterye współdziałają przy rozkładzie substancyi roślinnej i jej przemianie w rozmaite rodzaje węgli kopalnych. Gdzie pokłady węgla nie uległy silnemu przeobrażeniu i zachowały ustrój organiczny, tam badanie pod mikroskopem wykazuje miliony bakteryi w zwęglonych komórkach roślin. Pewne rodzaje bakteryi żyją w wodach, zawierających połączenia żelaziste i wydzielają w swych komórkach tlenek żelazowy. Przy pomocy tych bakteryi tworzy się w wodach stojących osad rdzawego wodorotlenku żelaza czyli limonitu (ruda bagienna, łąkowa, darniowa). One to przy zaopatrywaniu miast w wodę wyrządzają nieraz bardzo dotkliwe szkody, gdyż zawartość żelaza choćby w bardzo małej ilości już wystarcza, aby zanieczyszczały wodę i rozmnażały się tak szybko, iż mogą niekiedy spowodować zatkanie rur. Aby temu zapobiedz, trzeba budować osobne zakłady, które mają na celu oczyszczanie wody ze związków żelaza.

Na dnie zatok morskich i jezior słonych żyją bakterye i wytwarzają z rozkładu materyi organicznej siarkowodór, gaz, który składa się z siarki i wodoru i z daleka zdradza swą obecność niemiłą wonią. Za pośrednictwem siarkowodoru odbywają się przemiany chemiczne pomiędzy solami, rozpuszczonemi w wodzie; jedne połączenia rozkładają się, a na ich miejsce tworzą się nowe. Niektóre bakterye rozkładają siarkowodór i nagromadzają siarkę, z której składa się często przeszło 90% ich komórek.

W wielu jeziorach bezodpływowych znaleziono czarny, lepki namuł, wydający woń siarkowodoru. Na dnie czarnomorskich limanów przy współudziale bakteryi osadza się namuł, który jest znanym ze swych własności leczniczych. Podobnie wytwarza się bardzo dużo siarkowodoru w głębi Morza Czarnego [69]. Brak tam silniejszych prądów, któreby oczyszczały wodę z tego gazu, zabójczego dla wszystkich zwierząt. Dlatego w Morzu Czarnem zwierzęta żyjące są ograniczone tylko do najwyższej warstwy wody, a w 200 m głębokości już zupełnie znikają.

XI.

Poznaliśmy już bliżej, jak skały wietrzeją i rozsypują się w gruz, jak ich okruchy zostają porwane przez prąd wody bieżącej, a po części przez lód lub wiatr i podczas transportu roztarte, jak wreszcie tworzą się warstwy osadów na dnie zbiorników wody. Ale zanim taki osad, który składa się z luźnych cząstek, zamieni się w zwięzłą i twardą skałę, musi przebyć jeszcze cały szereg przemian, które obejmujemy nazwą diagenezy i metamorfizmu.

Diagenezą nazywamy zmiany w stanie fizycznym i w składzie chemicznym, jakim podlegają osady mórz bez współudziału tych czynników, które mają swe źródło w wewnętrznem cieple ziemi. Te przemiany rozpoczynają się z chwilą, gdy osady spoczywają jeszcze pod grubą warstwą wody, a dalszy ich ciąg następuje po wynurzeniu się dna, pokrytego piaskiem lub namułem, ponad poziom morza jako ląd stały.

Pokruszone i roztarte szczątki zwietrzałych skał, przyniesione przez rzeki do oceanów, nagromadzają się w nich jako osady, do tego stopnia przesiąknięte i zmieszane z wodą, iż zatracają charakter ciał stałych i zachowują się nieraz jak płyn.

Pod wpływem nacisku warstw wyższych na niższe cząstki zbliżają się do siebie, osady zbijają się coraz bardziej i nabierają zwięzłości.

Gdy z czasem granica między lądem stałym a morzem ulegnie zmianie. osady morskie wynurzają się ponad powierzchnię wody i przyłączają do lądu. Woda, która je dotąd przesiąkała, wnet paruje i osadza w szczelinach swe składniki mineralne (sole i t. p.), aż wreszcie osady wysychają i twardnieją. Równocześnie jednak dostają się pod działanie wody atmosferycznej, która wsiąka w porowaty i zaledwie po części stężały utwór, zabiera łatwiej rozpuszczalne związki mineralne, a na ich miejsce przynosi i osadza w przestrzeniach wolnych nowe składniki. Tak powstaje lepiszcze (cement), które jakby kit otacza luźne ziarna, spaja je i łączy w całość, w zwięzłą skałę. Najczęściej w skałach jako lepiszcze występuje węglan wapniowy (wapień, kalcyt), krzemionka i połączenia żelazowe (hematyt, syderyt). Tlenek żelazowy

nadaje skałom barwy czerwonej, tlenek żelazawy powoduje odcień zielony, a wodorotlenek żelaza (limonit) zabarwia skały na żółto lub brunatno.

Spojenie ziarn, z których składa się skała osadowa, bywa bardzo często nadzwyczaj trwałem. Tak np. z piasku kwarcowego, zlepionego krzemionką, powstaje kwarcyt. Skała ta, składająca się niemal z czystej krzemionki, jest tak zwięzłą, iż przy rozbiciu pęknięcie przechodzi nie tylko przez lepiszcze, ale także przecina pojedyncze ziarna.

W skałach osadowych często znajdują się mniejsze lub większe skupienia substancyi mineralnej, zupełnie odmiennej od otaczającej skały. Są to t. zw. wydzielenia czyli konkrecye, które mogą przybierać najrozmaitsze, niekiedy bardzo dziwaczne kształty. Konkrecye tworzą się przeważnie w ten sposób, że wody, przesiąkające skałę i osadzające lepiszcze, natrafiają na większe przestrzenie wolne i w nich pozostawiają więcej połączeń mineralnych Często masa mineralna grupuje się około jakiegoś obcego ciałka i po rozbiciu konkrecyi można znaleźć w środku np. ułamek kości lub skorupy mięczaka. Konkrecye odznaczają się nadzwyczajną rozmaitością form: można widzieć kształt kul, jaj, walców, bochenków, nerek lub też całkiem nieregularny. Czasem konkrecye są popękane, a woda wypełniła szczeliny nowymi minerałami.

Konkrecye mogą się składać z różnych minerałów. W wapieniach jurajskich okolic Krakowa znajdują się buły krzemienia. Wśród utworów karpackiego fliszu występują konkrecye, złożone z zanieczyszczonego węglanu żelazowego (sferosyderyt), miejscami w takiej ilości, że dawniej istniały huty celem wytapiania z nich żelaza. Margle górnokredowe na Podolu zawierają skupienie pirytu. Również na Podolu, w utworach sylurskich znajdują się kule fosforytu, które dalej ku wschodowi, na Podolu rosyjskiem, są eksploatowane jako wyborny środek nawozowy. Gliny loessowe zawsze zawierają konkrecye wapienne, zwane laleczkami (Loesskindchen).

Przy tworzeniu się niektórych konkrecyi świat organiczny niewątpliwie musiał odegrać ważną rolę. Wyżej wspomniane wydzielenia krzemienia w wapieniach jurajskich przedstawiają się pod mikroskopem jako zbiór krzemionkowych szkieletów gąbek. Skupienia fosforytu mogły powstać jedynie przy współudziale rozkładającej się materyi organicznej.

Nie wszystkie konkrecye są utworem drugorzędnym, późniejszym niż sama skała. Czasem na dnie mórz tworzą się konkrecye równocześnie z osadami. Na dnie głębin morskich, pokrytych iłem czerwonym, leży mnóstwo buł manganowych. W Morzu Karyjskiem skorupy mięczaków i drobne kamyki już w krótkim czasie otaczają się powłoką żelazistą i tworzą konkrecye, które zawierają domieszkę manganu i miejscami służą nawet do wytapiania żelaza.

Woda może osadzać swe składniki nie tylko wewnątrz skały, ale także powlekać ich powierzchnię cieńszą lub grubszą warstwą mineralną (inkrustacye). Nieraz w niedostrzegalnych szczelinkach osadza się bardzo cienka po-

włoka wodorotlenku żelaza lub dwutlenku manganu. Jeżeli skała później pęknie wzdłuż takiej szczeliny, to na jej ścianach okazuje się ciemno zabarwiony rysunek, uderzająco podobny do form roślinnych (dendryty).

Najłatwiej i w najsilniejszym stopniu podlegają diagenezie utwory wapienne. Ich przeobrażanie rozpoczyna się już na dnie morza. Osady organiczne, a zwłaszcza wapienie koralowe, ulegają szybkiej zmianie pod wpływem wody morskiej, bogatej w dwutlenek węgla, która naprzemian roztwarza i wydziela węglan wapniowy. Wskutek tego znika z czasem wszelki ślad struktury organicznej i tworzy się zbity wapień.

Szkielety i skorupy zwierząt morskich są w przeważnej części zbudowane z węglanu wapniowego, ale obok niego często posiadają pewną domieszkę węglanu wapniowo-magnowego. Wskutek przemian, jakim podlegają osady wapienne na dnie morza pod wpływem wody morskiej, zawartość węglanu wapniowo-magnowego w osadach wapiennych może nieraz do tego stopnia się zwiększyć, iż wapienie przechodzą częściowo w dolomit. W południowym Tyrolu całe góry są w przeważnej części zbudowane z dolomitu tryasowego i stąd ta część Alp otrzymała nazwę «Dolomitów».

Wraz z osadami i szczątki zwierząt lub roślin w nich pogrzebane ulegają przemianom. Skamieniałości powstają w ten sposób, że resztki organiczne za pośrednictwem wody przenika substancya mineralna, głównie wapień, krzemionka i piryt. Niektóre skały zawierają pnie drzew, przemienione w krzemionkę, która tak wiernie oddaje ustrój roślinny, że można odróżnić nawet najdrobniejsze komórki. Węglan wapniowy, z którego składają się skorupy mięczaków, często ulega rozpuszczeniu przez wodę, a w otaczającej skale zachowuje się dokładny odcisk muszli. Czasem pozostała przestrzeń wolna zostanie wypełnioną przez lepiszcze i wówczas zamiast samych skorup mamy ich odlewy.

Gdzie osady zawierają znaczne nagromadzenia materyi organicznej, a zwłaszcza roślinnej, tam wskutek rozkładu wywiązuje się ogromna ilość gazów, głównie węglowodorów. Pod silnem ciśnieniem gazy wydobywają się na powierzchnię i wyrzucają wodę, zmieszaną ze szlamem, z którego tworzą się stożki podobnie jak przy wybuchach wulkanów. Toteż przez długie lata zjawisko to błędnie było uważanem za objaw wulkaniczny i otrzymało całkiem niestosowną nazwę «wulkanów błotnych». Zdarza się wprawdzie i w okolicach wulkanicznych [70]), że z głębi ziemi wydobywa się gorąca woda, zmieszana z roztartymi okruchami zwietrzałych skał. Ale zjawiska, o których mowa, odbywają się przy normalnej temperaturze i zdala od wulkanów. Polegają jedynie na rozkładzie substancyi organicznej, a nie mają zgoła nic wspólnego z objawami wulkanicznymi i dlatego daleko odpowiedniejszą jest dla nich nazwa: «salsy».

Salsy pojawiają się pojedynczo lub grupami. Ich wysokość jest rozmaita, począwszy od 1 lub kilku aż do 400 i 500 m. Podczas wybuchu wylewa



Nuvolau w południowo-tyrolskich Dolomitach. (Według fotogr. zdjęcia zakładu Würthlego w Salcburgu.)

się potok szlamu, kamienie wylatują do kilkudziesięciu m wysokości, a w samym otworze szlam burzy się pod wpływem obficie wydzielających się baniek gazu i robi wrażenie kipiącej wody. Tylko wyjątkowo temperatura podnosi się do 30—40° C i wówczas ukazuje się para wodna. Często gazy, wśród których przeważają węglowodory (90—95°/₀), zapalają się i przez dłuższy czas widać słup ognia i kłęby dymu. Silniejszym wybuchom towarzyszy szum i wstrząśnienie ziemi w najbliższem otoczeniu.

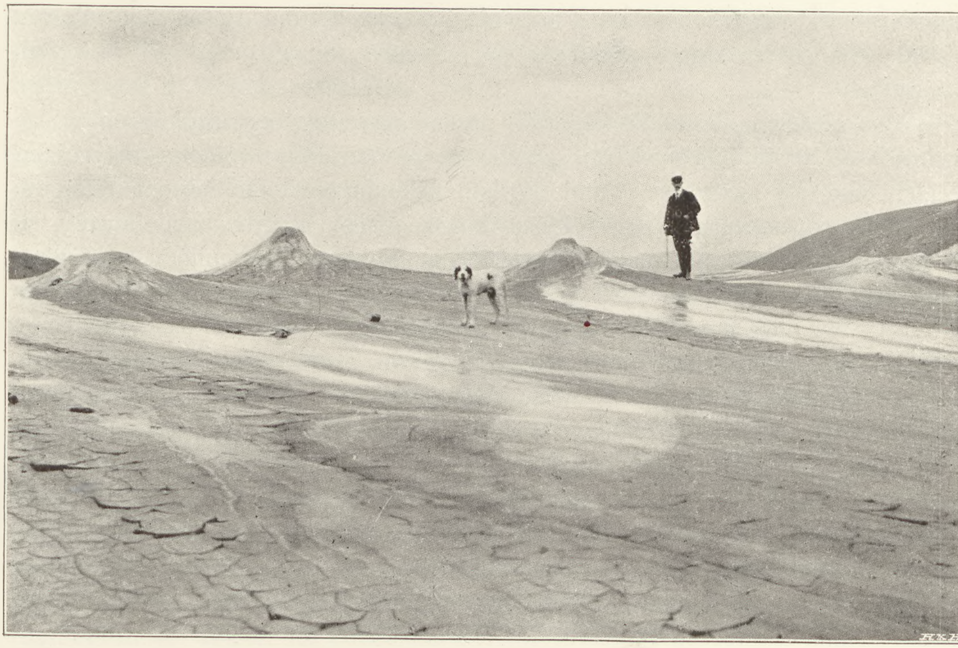
Salsy znamy z wyspy Jawy, z Girgenti w Sycylii («macaluba), z Włoch (Toskana, Modena), z wybrzeży Morza Czarnego (Kercz, Taman) i wielu innych miejscowości. Wspaniale występują salsy w okolicach naftonośnych koło Baku. Tam także na dnie Morza Kaspijskiego odbywają się wybuchy gazów, a z wyrzuconego mułu tworzą się małe wysepki, których istnienie jest bardzo krótkiem. Taka wyspa (Kumani) wynurzyła się w maju 1861, a już w listopadzie tegoż roku znikła.

Osady, które nagromadzają się u ujść rzek, zawierają dużo substancyi roślinnej, przyniesionej z głębi lądu przez wodę bieżącą i pogrzebanej pod warstwą namułu. Wskutek rozkładu wydobywają się gazy i zapalone świecą jak gaz świetlny (np. w delcie Padu). U ujść rzeki Mississippi salsy sterczą jako stożkowate wysepki (t. zw. «mud-lumps») na kilka m nad powierzchnią wody. Wynurzają się już w przeciągu kilku godzin i wyrzucają z swych otworów gazy łatwo zapalne, namuł i wodę słoną.

Gdy gazy nie mogą wydobywać się swobodnie z głębi osadów, zostają ściśnięte i wreszcie powodują wybuchy sals. Gdzie natomiast szczeliny są otwarte, tam gazy wydobywają się bez żadnej przeszkody i raz zapalone ciągle płoną. Takie «wieczne» czyli «święte ognie» znano w Kaukazie, od niepamiętnych czasów i tu wznoszono świątynie, do których podążały tłumne pielgrzymki czcicieli ognia z dalekich okolic Azyi.

Diageneza sprawia, że z osadów, pozbawionych zwięzłości, z biegiem czasu tworzą się twarde i zbite skały. Ale na tem nie kończy się szereg przeobrażeń. Pod wpływem zjawisk wulkanicznych lub sił górotwórczych, skały ulegają dalszym przemianom, które nazywamy metamorfizmem, a które częstokroć tak dalece zmieniają pierwotny charakter skał, iż zupełnie zacierają ich pochodzenie osadowe.

Niektóre rodzaje skał pochodzenia wulkanicznego, jak diabaz lub melafir, są przepełnione bańkami, które pozostały po parach zawartych w lawie i nadają tym skałom ustrój gąbczasty. Podobnie jak w skałach osadowych, tak i tu osadzają się rozmaite minerały, tworząc wydzielenia (sekrecye, geody, druzy). Ale tutaj wchodzi już w grę woda, wskutek bliskości ognisk wulkanicznych posiadająca wyższą temperaturę i dlatego nie można wydzieleń mineralnych w skałach wybuchowych uważać na równi z konkrecyami utworów osadowych za objaw diagenezy. Woda gorąca działa pod względem chemi-



Salsy w Beciu w Rumunii. (Według fotogr. zdjęcia prof. R. Zubera.)

cznym daleko silniej, aniżeli przy zwykłej temperaturze i może rozpuszczać lub osadzać wiele minerałów. Wypełnienia baniek w skałach wybuchowych zazwyczaj składają sią z rozmaitych odmian kwarcu, z kalcytu i z zeolitów[71]). Te minerały osadzają się na ścianach próżnych baniek w spółśrodkowych, różnobarwnych warstewkach i albo szczelnie wypełniają całą bańkę, albo też pozostaje w środku przestrzeń wolna, w której rozwijają się piękne kryształy. Skały wulkaniczne, które posiadają bańki, wypełnione przez substancyę mineralną, znane są także pod nazwą migdałowców.

Przebijając skorupę ziemską, magma powoduje zmiany w utworach osadowych, z którymi się zetknęła. Tego rodzaju przeobrażenie, które sięga na mniejszą lub większą odległość i jakby pierścieniem otacza skałę wybuchową, nazywany metamorfizmem przez zetknięcie (Kontaktmetamorphismus). Przy przemianie skał osadowych wskutek zetknięcia się z roztopioną magmą wchodzą w grę dwa czynniki: wysoka temperatura i ogromna ilość gazów (głównie para wodna), uchodzących ze stygnącej magmy. Jeżeli magma wydobędzie się na powierzchnię ziemi, gazy mogą z niej swobodnie uchodzić i przemiana skał osadowych ogranicza się do działania wysokiej temperatury (metamorfizm kaustyczny). W zetknięciu z magmą, która wydobyła się na powierzchnię ziemi i skrzepła jako skała wulkaniczna, utwory osadowe zostają przepalone lub

stopione i pokrywają się szklistą powłoką. Czasem w pobliżu skał wulkanicznych uwarstwowanie zanika, a natomiast utwory osadowe nabywają własności dzielenia się na słupy, podobnie jak niektóre rodzaje stężałych law wulkanicznych.

Bez porównania silniejszą jest przemiana utworów osadowych w sąsiedztwie skał plutonicznych (np. granit), które powstały z magmy, ostygającej w głębi skorupy ziemskiej. Tutaj bowiem działała nie tylko wysoka temperatura, ale równocześnie pary, które z krzepnącej magmy wydobywały się w ogromnej ilości i nie mogły uchodzić na zewnątrz, przenikały otaczające skały osadowe, powodując ich przemianę chemiczną (metamorfizm hydatotermiczny). Wskutek tego skały osadowe stają się krystalicznemi; wapień przechodzi w krystaliczny marmur, z łupków iłowych tworzą się łupki krystaliczne lub gnajs. W otoczeniu skał plutonicznych przemiana sięga znacznie dalej w głąb utworów osadowych, aniżeli w sąsiedztwie skał wulkanicznych.

Pary i gorąca woda, wydzielające się z ostygającej magmy i przenikające skałę osadową, przynoszą wprawdzie i osadzają w przestrzeniach wolnych nowe związki mineralne, ale ten przybytek jest stosunkowo niewielkim. Działanie przenikających par polega przedewszystkiem na tem, że przy ich pomocy odbywają się chemiczne przemiany tych połączeń mineralnych, z których skała osadowa pierwotnie się składała. W ten sposób skład chemiczny zmetamorfizowanej skały osadowej w całości pozostaje mniej więcej niezmienionym, ale jedne połączenia chemiczne znikają, a na ich miejsce tworzą się nowe. Tak np. podczas przemiany wapienia w krystaliczny marmur, drobne zanieczyszczenia ilaste i krzemionkowe skupiają się w piękne kryształy granatu.

Przeważna część skał osadowych, z których zbudowaną jest skorupa ziemska, w mniejszym lub większym stopniu uległa wypiętrzeniu i pofałdowaniu. Ogromne ciśnienie nie mogło pozostać bez wpływu na pogięte utwory i spowodowało ich przeobrażenie, które nazywamy dynamometamorfizmem. Skały plastyczne, jak np. iły, łatwo poddawały się ruchom górotwórczym i nawet w małym kawałku można widzieć pofałdowane warstewki. Inaczej zachowywały się skały sztywne a kruche, o których możemy z pewnością twierdzić, że w chwili wypiętrzania były już twardemi, jak np. pokłady wapienia. Gdy ciśnienie przekracza granice wytrzymałości, sztywne warstwy zostają pokruszone i rozpadają się w okruchy [72]). Widać to dobrze na pewnym rodzaju marmuru (t. zw. «Ruinen-Trümmermarmor»), którego zlepione okruchy dają na wygładzonej powierzchni rysunek, przypominający kształty ruin. Podczas fałdowania skała twarda zostaje zazwyczaj pogruchotaną i roztartą na bardzo drobne cząsteczki. Pod wpływem ogromnego ciśnienia cząsteczki zbliżają się do siebie i zbijają w jedną masę, która napozór zachowuje się taksamo, jak gdyby była plastyczną. Później woda wypełnia szczeliny kwarcem lub kalcytem i zlepia wszystkie okruchy tak dokładnie, iż pogięty pokład twardej skały robi wrażenie, że zachowywał się jak masa łatwo dająca

się ugniatać. Przy silnem powiększeniu występuje nadzwyczaj gęsta sieć delikatnych szczelinek, wypełnionych później przez wodę substancyą mineralną. Obliczono, że 1 cm^3 silnie pogiętej skały składał się często z setek tysięcy nadzwyczaj drobnych okruchów.

Gdzie znajdują się naprzemian ułożone sztywne i podatne warstwy, przy wypiętrzaniu twarde pokłady pękają w większe bryły, które wciskają się w sąsiednie miękkie utwory.

Skamieniałości, zawarte w skałach pofałdowanych, czasem zostały odkształcone (deformacya). Pod mikroskopem widać, że i one są złożone z drobnych okruchów, które zostały przesunięte i później spojone.

Pofałdowane utwory okazują często t. zw. fałszywe lub skośne warstwowanie (cleavage). Skała zostaje podzieloną na grubsze lub nawet bardzo cienkie warstewki, które przebiegają całkiem niezależnie od naturalnego uwarstwowania i przecinają je pod rozmaitym kątem. Wskutek pofałdowania naturalne uwarstwowanie przedstawia powierzchnię falistą, której kierunek ciągle się zmienia — tymczasem skośne uwarstwowanie przebiega stale w tym samym kierunku. Niekiedy skośne warstwowanie nie występuje jawnie i dopiero uderzywszy młotkiem o skałę, spostrzegamy, że pęka w pewnym, stałym kierunku. Warstwowanie skośne polega na tem, że pojedyncze składniki skały, jak drobne kryształy minerałów lub blaszki łyszczku, układają się w szeregi pionowo do kierunku, w którym działa ciśnienie. A że siła, wypiętrzająca łańcuchy górskie, działa w kierunku poziomym, zatem przebieg fałszywego uwarstwowania zazwyczaj jest stromo nachylony.

Zmiany, jakie zachodzą w skałach wskutek wypiętrzenia, najlepiej widać, gdy porównamy takie same skały z okolic, gdzie zostały pofałdowane, i z tych, gdzie zachowały swe pierwotne, poziome ułożenie. Najstarsze (sylurskie) utwory w okolicy Petersburga nigdy nie uległy ruchom skorupy ziemskiej i są poziomo ułożone. To też wcale nie różnią się od utworów z niedawnych okresów geologicznych. Natomiast na brzegu Uralu tesame utwory zostały mocno pofałdowane i stały się krystalicznymi. Innym przykładem są pokłady węgla w Pensylwanii. Na zachodnim stoku gór Alleghany utwory karbońskie są pofałdowane i tu występują pokłady antracytu. Dalej zaś ku zachodowi, gdzie warstwy są płasko ułożone, miejsce antracytu zajmuje bitumiczny węgiel kamienny. Pomiędzy tymi obszarami przejście tworzą pokłady węgla kamiennego, które tylko po części zostały przemienione w antracyt.

Rozmaite eksperymenty, wykonane nad zachowaniem się ciał pod bardzo silnem ciśnieniem, rzucają ciekawe światło na przeobrażanie skał pod wpływem ruchów skorupy ziemskiej. Daubrée poddawał wysokiemu ciśnieniu stearynę, która przybierała wyraźne uwarstwowanie. Blaszki łyszczku zmieszane z iłem układały się pionowo do kierunku, w którym działało ciśnienie.

Szereg ciekawych eksperymentów wykonał Spring. Ziarna rozmaitych metali mieszał ze sobą, poddawał ciśnieniu i w ten sposób otrzymał aliaże,

jak np. mosiądz i bronz[73]). Przy stosownie dobranej temperaturze dwie płyty metalowe, położone na sobie, spajają się już pod ciśnieniem własnego ciężaru. Opiłki metali, jak np. ołowiu, cyny, cynku, miedzi i t. d., poddane ciśnieniu skupiają się w zwięzłą masę już przy zwykłej temperaturze. Ze sproszkowanych siarczków[74]) przy zastosowaniu silnego ciśnienia otrzymał Spring kryształy, nawet gołem okiem dostrzegalne. Torf z Holandyi, wystawiony na ciśnienie 6 tys. atmosfer, stracił zupełnie strukturę organiczną i zamienił się w twardą, czarną, błyszczącą bryłę, z wejrzenia zupełnie podobną do węgla kamiennego. Wpływ ciśnienia w eksperymentach Springa nie ograniczał się tylko do fizycznego stanu ciał, ale powodował także zmiany chemiczne. Pod ciśnieniem 5 000 atm. opiłki miedzi ze sproszkowaną siarką dały krystaliczne połączenie chemiczne, które w przyrodzie występuje jako minerał, zwany błyszczem miedzi (chalkozyn).

Do przemian, jakim ulegają skały, należy w znacznej części tworzenie się złóż metali, które występują w przyrodzie niekiedy w stanie czystym (rodzime), ale daleko częściej w połączeniu chemicznem z innymi pierwiastkami (rudy). Niemała część złóż metali jest dziełem objawów wulkanicznych, a mianowicie źródeł gorących, które wydobywały się z głębi ziemi wzdłuż szczelin w skorupie ziemskiej i osadzały w nich rozmaite połączenia metali. Z czasem szczeliny zostały całkowicie wypełnione przez połączenia różnych metali i zamieniły się w żyły kruszcowe. Niektóre żyły kruszcowe (np. złoża rud cynowych wśród granitów) osadziły się nie z wody źródeł gorących, ale z wyziewów par wulkanicznych, w których znajdowały się metale w stanie lotnym. Żyły kruszcowe występują w sąsiedztwie skał wybuchowych, w okolicach, gdzie w minionych okresach geologicznych tworzyły się liczne pęknięcia, sięgające daleko w głąb skorupy ziemskiej i otwierały drogę wulkanicznym wyziewom gazów i źródłom gorącej wody.

Nie wszystkie jednak złoża rud zawdzięczają swe powstanie objawom wulkanicznym. Niektóre pokłady rud, jak np. pewna część rud żelaznych, są skałami osadowemi. Inne wreszcie złoża powstały wskutek przemiany skał osadowych w ten sposób, że ze skały, która pierwotnie zawierała niewielką ilość metalu, z czasem wszystkie inne składniki zostały usunięte (np. wypłukane przez wodę), a pozostały jedynie połączenia metali.

DODATEK.

Poznanie materyałów, z których składa się skorupa ziemska, jest zadaniem mineralogii i petrografii. Petrografia, która zrazu była tylko działem geologii, urosła z czasem w osobną naukę i wychodzi poza ramy zwięzłego podręcznika geologii. Dlatego też podajemy tutaj tylko krótki przegląd najważniejszych minerałów i skał, zaczynając od pierwiastków, z których składają się minerały i skały.

Antymon	Sb
Arsen	As
Azot	N
Bar	Ba
Beryl	Be
Bizmut	Bi
Bor	B
Brom	Br
Chlor	Cl
Chrom	Cr
Cyna	Sn
Cynk	Zn
Cyrkon	Zr
Fluor	Fl
Fosfor	P
Glin	Al
Iryd	Ir
Jod	J
Kadm	Cd
Kobalt	Co
Krzem	Si
Lit	Li
Magnez	Mg
Mangan	Mn
Miedź	Cu
Nikiel	Ni
Ołów	Pb
Platyna	Pt
Potas	K
Rtęć	Hg
Siarka	S
Sód	Na
Srebro	Ag
Tlen	O
Tellur	Te
Tytan	Ti
Uran	U
Wapń	Ca
Węgiel	C
Wodór	H
Złoto	Au
Żelazo	Fe

Z pierwiastków składają się minerały, a z tych skały. Albo jeden minerał (np. wapień) występuje w tak wielkiej ilości, iż tworzy potężne skały (skały jednorodne), albo też skała jest mieszaniną (aggregatem) większych lub mniejszych, a nawet mikroskopowo drobnych ziarn kilku minerałów (skały złożone).

1. MINERAŁY.

Agat, odmiana kwarcu.
Albit. Na, Al, Si, O.
Ałun. Al, K, (Na, Mg, Mn, Fe), S, O, woda.
Amfibol. Ca, Mg, Fe, Al, Si, O.
Andezyn. Na, Ca, Al, Si, O.
Anhidryt. Ca, S, O.

Anortyt. Ca, Al, Si, O.
Antracyt, p. węgle.
Apatyt. Ca, Fl (Cl), P, O.
Aragonit, odmiana kalcytu.
Asfalt. C, O, H
Augit, p. piroxen.
Auripigment. As (60,96%), S.
Azuryt. Cu, C, O, H.

Baryt. Ba, S, O.
Beryl. Be, Al, Si, O.
Biotyt, łyszczyk magnowy. K, Mg, Al, Fe, Si, O, H.
Boraks. Na, B, O, woda.
Bronzyt. Mg, Fe, Si, O.
Bursztyn. C, O, H.

Cerussyt. Pb (77,6%), C, O.
Chabazyt. K, Ca, Al, Si, O, woda.
Chalcedon, odmiana kwarcu.
Chalkopiryt. Cu (34,52%), Fe (30, 53%), S.
Chloryt. Mg, Fe, Al, Si, O, H.
Chromit. Fe, Mg, Cr, Al, O.
Cynober. Hg (86,2%), S.
Cyrkon. Zr, Si, O.

Diallag. Ca, Mg, Fe, Al, Si, O.
Diaspor. Al, O, H.
Dolomit. Ca, Mg, C, O.
Dyament. C.

Enstatyt. Mg, Si, O.
Epidot. Al, Fe, Si, Ca, O, H.
Epsomit, sól gorżka. Mg, S, O, woda.

Feldspat = skaleń.
Fluoryt. Ca, Fl.
Fosforyt, odmiana apatytu.

Galenit. Pb (86,6%), S.
Galman, smithsonit. Zn (52%), C, O.
Gips. Ca, S, O, woda.
Glauberska sól, p. mirabilit.
Glaukonit. K, Fe, Si, Al, O, woda.
Grafit. C.
Granat. Ca (Mg, Fe, Mn), Cr, Al, Si, O.

Harmotom. Ba (K), Al, Si, O, H, woda.
Hematyt (tlenek żelazowy), Fe (70%), O.
Hydrargillit. Al, O, H.
Hypersten. Mg (Fe), Si, O.

Jaspis, odmiana kwarcu.

Kainit. Mg, K, Cl, S, O, woda.
Kalcyt, węglan wapniowy. Ca, C, O.
Kaolin. Al, Si, O, H.
Karnallit. K, Mg, Cl, woda.
Kassyteryt. Sn (78,62%), O.
Kieseryt. Mg, S, O, woda.
Korund, glinka. Al (53, 04%), O.
Kryolit. Na, Al, Fl.
Krzemień, odmiana kwarcu.
Kupryt. Cu (88,8%), O.
Kwarc, krzemionka. Si (46,73%), O.

Labradoryt. Ca, Na, Al, Si, O.
Lazuryt, lapis lazuli. Na, Ca, Al, Si, Fe, S, O.
Lepidolit, łyszczyk litowy. Li, K, Fl, Si, Al, O.
Leucyt. K, Al, Si, O.
Lignit, p. węgle.
Limonit, wodorotlenek żelaza. Fe (59,9%), O, H.

Łyszczyk, p. biotyt, muskowit i lepidolit.

Magnetyt. Fe (72,41%), O.
Magnezyt. Mg, C, O.
Malachit. Cu, C, O, H.
Markazyt, odmiana pirytu.
Marmur, p. kalcyt.
Mellit. Al, C, O, woda.
Menilit, odmiana opalu.
Mikroklin K, (Na), Al, Si, O.
Mirabilit. Na, S, O, woda.
Muskowit, łyszczyk potasowy. K, Al, Si, Mg, Mn, Fe, O, H.

Nafta, p. węglowodory.
Natrolit. Na, Al, Si, O, woda.
Nefelin. Na (K), Al, Si, O.

Olej skalny, p. węglowodory.
Oligoklaz. Na, Ca, Al, Si, O.
Oliwin. Mg, Fe, Si, O.
Opal, martwica krzemionkowa. Krzemionka z wodą (3—13%).
Ortoklaz. K, (Na), Al, Si, O.
Ozokeryt, p. węglowodory.

Periklin, p. albit.
Perowskit. Ca, Ti, O.
Pianka morska. Mg, Si, O, H.
Pirargiryt. Ag (59,97%), Sb (22,21%), S.
Piroxen. Ca, Mg, Fe, Al, Si, O.
Piryt. Fe (46,63%), S.
Plagioklazy. Grupa plagioklazów obejmuje minerały: albit, oligoklaz, andezyn, labradoryt, anortyt.
Polyhalit. Ca, K, Mg, S, O, woda.
Pyropissyt, p. węglowodory.

Realgar. As (70,80%), S.
Rogowiec, odmiana kwarcu.
Rutyl. Ti (61,15%), O.

Saletra potasowa. K, N, O.
Saletra sodowa (chilijska). Na, N, O.
Salmiak. Cl, N, H.
Sanidyn, odmiana ortoklazu.
Serpentyn. Mg, Si, O, H.
Sfaleryt. Zn (66,98%), S.
Skaleń. Nazwą skaleni obejmujemy minerały: ortoklaz, mikroklin, plagioklazy.
Soda. Na, C, O, woda.
Sól kamienna (zwyczajna). Na, Cl.
Stefanit. Ag, (68,5%), Sb, S.
Stylbit. Ca, Al, Si, O, H, woda.
Syderyt. Fe (48,2%), C, O.
Sylwanit. Au (30%), Ag (10%), Te.
Sylwin. K, Cl.

Talk. Mg, Si, O, H.
Topaz. Al, Si, Fl, O.
Trona. Na, C, O, woda.
Trydymit, odmiana kwarcu.
Turmalin. Al, Si, Mg, Mn, Fe, K, Na, Li, B, O, H.
Tytanit. Ca, Ti, Si, O.

Wapień, p. kalcyt.
Węgle kopalne. C, O, N, H.
   Antracyt.
   Węgiel kamienny.
   Węgiel brunatny (lignit).
Węglowodory. C, H.
   Ozokeryt (wosk ziemny).
   Pyropissyt.
   Nafta (olej skalny).
Wiwianit. Fe, P, O, woda.
Woda (śnieg, lód). O, H.
Wosk ziemny, p. węglowodory.

2. SKAŁY.

I. Osady mechaniczne (skały klastyczne). Okruchy zwietrzałych skał rozmaitej wielkości (żwir, piasek, ił), spojone lepiszczem, przeważnie uwarstwowane.

Okruchowce są zlepione z kawałków kańczastych jednego lub więcej gatunków skał.

Zlepieńce (konglomeraty) składają się z kawałków otoczonych, zaokrąglonych wskutek uderzania fal morskich lub transportu przez wodę i lody.

Piaskowce są zbudowane z piasku, przeważnie kwarcowego, zlepionego materyałem ilastym, krzemionkowym, żelazistym lub wapiennym.

Ił i glina składają się z najdrobniejszych cząsteczek, ostatecznego produktu zwietrzenia i rozkładu skał. W stanie wilgotnym są plastyczne. Ił bardzo cienko warstwowany tworzy łupek iłowy, dachówkowy, tabliczkowy etc.

Margiel powstaje z roztartego materyału wapiennego, zmieszanego z iłem lub piaskiem.

Tufy wulkaniczne (por. ustęp IVBc).

II. Osady chemiczne wydzielały się z wód chłodnych lub gorących, zawierających rozpuszczone substancye mineralne, a po części i z par, które wydobywały się z głębi ziemi w okolicach wulkanicznych. Czasem są uwarstwowane, lub jako żyły wypełniają szczeliny w skałach.

Wapień, martwica wapienna.

Gips, anhidryt.
Sól zwyczajna (chlorek sodowy).
Sole potasowe i magnowe: sylwin, kainit, karnallit, kieseryt, polyhalit i i.
Krzemionka: kwarc, kwarcyt.
Żyły kruszcowe.

III. Skały pochodzenia organicznego powstały z substancyi mineralnej, wydzielonej z wody przy pomocy organizmów, lub z rozkładu resztek zwierzęcych i roślinnych, nagromadzonych w wielkiej ilości.

Wapień, marmur. Wapienie koralowe, muszlowe i mszywiołowe (bryozoowe). Wapień litotamniowy składa się z alg (Lithothamnium). Oolit jest zbudowany z kuleczek wapiennych, wydzielonych przez algi. Trawertyn (po części)

Biała kreda (do pisania) składa się ze skorupek otwornic (Foraminiferae).

Dolomit, węglan wapniowy-magnowy, zazwyczaj silnie zanieczyszczony.

Krzemionka, wydzielana przez radyolarye, diatomee (okrzemki), algi i inne drobne ustroje. Martwica krzemionkowa, ziemia okrzemkowa, trypla, łupek szlifierski. lidyt. Krzemienie są zbudowane ze szkieletów gąbek i radiolaryj.

Węgle: grafit, antracyt, węgiel kamienny, węgiel brunatny, lignit, torf.

Węglowodory: asfalt, nafta, wosk ziemny.

Guan'o, odchody ptaków.

Kości i skorupy zwierząt mogą występować w takiej ilości, iż tworzą całe pokłady.

IV. Skały wybuchowe, powstałe z ostygłego stopu rozmaitych minerałów (magma).

A. SKAŁY PLUTONICZNE (intruzywne)[75].

Granit. Ortoklaz, kwarc, łyszczyk (biotyt lub muskowit), talk, chloryt, amfibol.

Syenit. Ortoklaz, amfibol, oligoklaz, biotyt, kwarc, tytanit, cyrkon.

Dioryt. Amfibol, plagioklaz, kwarc, augit, biotyt.

Gabbro. Plagioklaz, diallag, oliwin.

Dunit (skała oliwinowa). Oliwin, enstatyt, diallag, amfibol, plagioklaz.

Z rozkładu dwóch ostatnich skał pochodzą serpentyny.

B. SKAŁY WULKANICZNE (effuzywne).

a) starsze,

które utworzyły się przed okresem trzeciorzędnym.

Porfir felzytowy (kwarcowy) przedstawia masę zbitą z wtrąconymi większymi kryształami kwarcu i ortoklazu. Felzyt posiada ustrój jednostajny, bez wtrąconych kryształów. Smołowiec porfirowy i witrofir składają się ze szklistej masy.

Porfir bezkwarcowy nie posiada kryształów kwarcu.

Porfiryt zawiera kryształy oligoklazu, amfibolu i biotytu.

Diabaz. Plagioklaz (labradoryt), augit, oliwin.

Cieszynit. Augit, amfibol, plagioklaz, analcym, natrolit.

Melafir. Plagioklaz, augit, magnetyt, oliwin.

b) młodsze,

które wylały się z głębi ziemi w czasie okresu trzeciorzędnego i obecnie wylewają.

Trachit kwarcowy (liparyt, ryolit). Kwarc, sanidyn, łyszczyk, amfibol.

Trachit zamiast kwarcu zawiera plagioklaz.

Obsydyan, smołowiec trachitowy i perlit swym składem przypominają trachity, a odznaczają się szklistem wykształceniem.

Pumeks jest szkliwem bańczastem, pienistem i tak lekkiem, iż pływa po powierzchni morza.

Fonolit. Sanidyn, leucyt, nefelin, amfibol, augit.

Andezyt. Plagioklaz, amfibol, augit.

Bazalt. Plagioklaz, augit, magnetyt, łyszczyk, oliwin, nefelin, leucyt. Gruboziarnisty (doleryt) lub drobnoziarnisty (anamezyt).

c) Tufy wulkaniczne (skały wulkanoklastyczne) tworzą przejście od skał wulkanicznych (effuzywnych) do osadowych. Utworzyły się przy współudziale wody z materyałów grubszych i drobniejszych, wyrzuconych przez wulkan (bompy, lapilli, piasek wulkaniczny, popiół). Zazwyczaj uławicone. Czasem zawierają skamieniałości. Towarzyszą skałom wulkanicznym i odpowiednio do tego rozróżniamy tuf diabazowy, melafirowy, trachitowy, bazaltowy i t. d.

V. Łupki krystaliczne łączą w sobie cechy skał wybuchowych (ustrój krystaliczny, takie same składniki mineralne) i osadowych (uwarstwowanie)[75].

Gnajs. Ortoklaz, kwarc, łyszczyk, granat, turmalin, amfibol, augit, diallag, epidot.

Protogin zawiera zamiast łyszczyku chloryt.

Haelleflinta jest masą zbitą, składającą się z tak drobnych ziarn skalenia i kwarcu, iż nie można ich gołem okiem odróżnić.

Granulit zawiera dużo granatu.

Łupek łyszczykowy. Łyszczyk, kwarc, granat, turmalin.

Kwarc jako łupek kwarcowy lub kwarcyt.

Itakolumit składa się z kwarcu, łyszczyku, talku i chlorytu. Zawiera złoto i dyamenty (Brazylia). Odznacza się taką sprężystością, iż cienkie warstwy dają się zginać.

Łupek chlorytowy, talkowy, amfibolowy.

Eklogit. Ortoklaz, amfibol, granat, cyrkon. Zawiera dyamenty (Transvaal).

Fyllity tworzą stopniowe przejście od łupków łyszczykowych do zwyczajnych iłowych.

Odrębny wygląd skał, które zbieramy pod wspólną nazwą łupków krystalicznych, jest wynikiem szczególnych warunków, wśród jakich powstały, a mianowicie ogromnego ciśnienia i wysokiej temperatury.

Gdziekolwiek na ziemi spuścilibyśmy się dostatecznie głęboko pod jej powierzchnię, natrafimy wreszcie pod najstarszemi skałami osadowemi na pokłady łupków krystalicznych, których grubość wynosi tysiące m. Ich powstanie przypada na najwcześniejszy okres w historyi ziemi, na erę archaiczną (azoiczną). Początek ery archaicznej liczymy od chwili, gdy ognisto-płynna ziemia wskutek ciągłej utraty ciepła zaczęła się powlekać skrzepłą skorupą. Być może, że w niektórych gnajsach grupy archaicznej mamy szczątki pierwszej stężałej skorupy, jaką pokryła się ziemia. Ta pierwsza skorupa musiała być jeszcze bardzo cienką, łatwo ulegała zaburzeniom i stąd pochodzi, że pokłady archaicznych łupków krystalicznych są zawsze silnie pogięte i połamane. Cienką skorupę bezustannie przebijały potężne wylewy magmy z głębi i rozlewały się na powierzchni ziemi w rozmiarach, z którymi tera iejsze, choćby najgwałtowniejsze objawy wulkaniczne nie dadzą się nawet porównać. Krzepnięcie magmy musiało się odbywać pod wielkiem ciśnieniem, skoro nad ówczesną skorupą ziemską ciężyła atmosfera, o weile grubsza od obecnej. Musimy bowiem pamiętać, że wskutek wysokiej temperatury woda nie mogła się utrzymać na powierz-

chni ziemi i cały dzisiejszy zapas wody na ziemi znachodził się jako para w ówczesnej atmosferze. Być może, że od czasu do czasu część pary wodnej skraplała się, jako gorąca woda zatrzymywała się chwilowo na powierzchni skorupy ziemskiej i współdziała przy powstaniu archaicznych łupków krystalicznych. Ale w miarę ochładzania się i grubienia najdawniejszej skorupy ziemskiej wylewy magmy z głębi stawały się rzadszymi, a równocześnie atmosfera traciła coraz więcej pary wodnej, która zaczęła się trwale skraplać i jako woda wypełniać nierówności na powierzchni ziemi. Działanie silnego ciśnienia i wysokiej temperatury słabło coraz bardziej, stopniowo warunki, wśród jakich powstały łupki krystaliczne grupy archaicznej, uległy zupełnej zmianie i na utworach archaicznych zaczęły się niezgodnie osadzać najstarsze skały osadowe (grupa eozoiczna), co do których nie ulega wątpliwości, że powstały tak samo, jak i dziś tworzą się się osady w zbiornikach wody.

Skały archaiczne tworzą podstawę, na której w ciągu historyi ziemi osadziły się skały osadowe, od najstarszych aż do najmłodszych. Pokryte grubą powłoką skał osadowych tylko tam pojawiają się na powierzchni ziemi, gdzie niszczące działanie czynników atmosferycznych odsłoniło najgłębsze części skorupy ziemskiej (np. Ameryka Północna).

Powstawanie łupków krystalicznych nie skończyło się z erą archaiczną, znajdujemy je także wśród utworów z późniejszych okresów. Tutaj należą pokłady łupków krystalicznych, które w ogromnych rozmiarach pojawiają się we wnętrzu łańcuchów górskich i grubym płaszczem otaczają dokoła centralne trzony skał plutonicznych (granity i t. p.)[77]. Powstały one równocześnie z wypiętrzeniem gór, bądź z magmy, która ostygała bardzo powoli i pod ogromnem ciśnieniem, wskutek czego składniki mineralne podczas krzepnięcia układały się w równoległe warstwy — bądź też są skałami osadowemi, które przy wypiętrzaniu zetknęły się z magmą, pod jej wpływem doznały zupełnej przemiany i nabrały struktury krystalicznej. Gnajsy są w części magmą, która ostygła w głębi łańcuchów górskich, a w części zmetamorfizowanemi skałami osadowemi. Ze skał osadowych, zależnie od tego, czy uległy silniejszej lub słabszej przemianie, powstały łupki łyszczykowe i fyllity. Fyllity zajmują pośrednie stanowisko między łupkami łyszczykowymi a skałami osadowemi, które nie doznały przemiany i zachowały swój pierwotny wygląd.

PRZYPISKI.

I.

[1]) Nazwy, których używamy dla oznaczenia systemów geologicznych, są rozmaitego pochodzenia. Po części utrzymały się dawne nazwy, używane przez górników w Saksonii, skąd wyszły umiejętne początki geologii (np. Kajper, Zechstein, Rotliegendes); niektóre nazwy pochodzą od skały, charakterystycznej dla pewnego systemu (system węglowy, piętro pstrego piaskowca), albo od kraju, gdzie ten system najlepiej jest rozwinięty i najpierw został poznany (kambryjski: Cambria, dawna nazwa Walii; dewoński od hrabstwa Devonshire w Anglii). Pewna wreszcie część nazw została urobioną z języka greckiego (archaiczny, mezozoiczny, pliocen) i łacińskiego (system karboński, dyluwium).

[2]) Grupa, system, piętro oznaczają same skały, a era, okres, epoka czas, w którym te skały się tworzyły. Mówimy np. o pokładach węgla systemu karbońskiego, ale o świecie roślinnym w okresie karbońskim.

[3]) [4]) Nazwy w graniastych nawiasach podają podziały, wprowadzone dla systemu permskiego i tryasowego w Niemczech. Podziały te nie mają powszechnego zastosowania, ponieważ niemiecki perm i tryas są przeważnie utworami lądowymi, a w części (Zechstein, wapień muszlowy) osadami morza zamkniętego, połączonego cieśninami z oceanem.

[5]) Algonkian amerykańskich geologów. — Ogólnie obowiązującego podziału na systemy nie udało się dotąd dla tej grupy przeprowadzić. Mamy tylko lokalne podziały dla niektórych krajów (Finlandya, Szwecya, Północna Ameryka).

II.

[6]) Ten stosunek nie występuje z całą ścisłością, gdyż mniejsze planety ostygają i kurczą się daleko prędzej aniżeli wielkie. A w miarę zmniejszania się objętości musi wzrastać gęstość. Wskutek tego, że ciała systemu słonecznego ostygały z rozmaitą szybkością, stosunek ich gęstości z czasem zmieniał się i dziś jest odmiennym od pierwotnego.

[7]) T. j. objętość pomnożona przez gęstość.

[8]) Księżyc w ciągu $29^1/_2$ dni obiega ziemię, a w tym samym czasie obraca

się raz dokoła swej osi. Stąd pochodzi, że w każdej fazie, tak podczas pełni jak nowiu, ta sama połowa księżyca jest ku ziemi zwróconą.

[9]) W tym samym czasie kula armatnia przebywa drogę około 500 m.

[10]) O podziale meteorytów na kamienne i żelazne por. str. 16.

[11]) Nazwą krzemianów obejmujemy minerały, które składają się z krzemionki i z tlenków metali, czyli połączeń metali (sód, potas, glin, magnez, wapń, żelazo) z tlenem. Tu należą między innymi: skalenie (ortoklaz, plagioklaz), łyszczyki, augit, amfibol i oliwin.

[12]) Około 40.000 lat.

III.

[13]) Obliczono, że w głębokości $^1/_5$ promienia ziemskiego powinno panować ciśnienie około 1 miliona, a w samym środku ziemi $5^3/_4$ milionów atmosfer.

[14]) Najniższa temperatura lawy, jaką obserwowano, wynosiła 670°. Zazwyczaj bywa daleko wyższą.

[15]) Oczywiście i nachylenie stoków wulkanu wpływa w wysokim stopniu na szybkość, z jaką płyną potoki lawy. Może ona wynosić od kilku cm do kilku m na sekundę.

[16]) Np. duże groty w strumieniach lawy na wyspach Azorskich.

[17]) Ilość minut, jaka upływa pomiędzy dwoma paroksyzmami, nie zawsze jest jednakową.

[18]) Zarówno «magma» jak «lawa» oznaczają płynną mieszaninę rozmaitych minerałów. Ale pierwszego wyrazu używamy zazwyczaj w odniesieniu do roztopionej masy skalnej w podziemnych zbiornikach, gdy zaś wydobędzie się na powierzchnię ziemi i traci przeważną część zawartych w niej par, mówimy o lawie.

[19]) Jeżeliby wnętrze ziemi składało się z płynnego żelaza, to rocznie powinnoby krzepnąć około 190 km³. To może dostarczyć 50 razy większej objętości wydzielających się par i wystarczyć do zasilenia 20.000 wulkanów, przez cały rok bez przerwy wybuchających.

[20]) Tak np. na jednej z wysp Liparyjskich, Vulcano, naloty, osadzające się z par wulkanicznych na ścianach krateru, dostarczają użytecznych produktów (siarka, kwas borowy i i.), które są przedmiotem eksploatacyi. — Sycylia produkuje rocznie około 200.000 tonn siarki wulkanicznej.

[21]) Siarka z wodorem daje siarkowodór, a z tlenem bezwodnik siarkawy.

[22]) Ob. str. 194.

[23]) Effundere (łac.) = wylewać.

[24]) Intrudere (łac.) = wciskać.

[25]) Obok skał wulkanicznych i plutonicznych wyróżniają jeszcze trzeci rodzaj skał wybuchowych, a mianowicie takie, których występowanie jest wyłącznie lub po największej części przywiązanem do żył (Ganggesteine). Tak np. odmiana granitu, zwana aplitem, zawsze wypełnia żyły wśród skał wybuchowych lub osadowych.

[26]) Dyke (ang.) = mur, wał.

[27]) Występowanie skały plutonicznej w otoczeniu starszych utworów wcale nie dowodzi, że powstała podczas dawniejszych epok geologicznych. Skały plutoniczne tworzą się z magmy w głębokich partyach skorupy ziemskiej, a więc wśród skał daleko starszych od tych, które równocześnie z powstawaniem skały plutonicznej osadzają się na powierzchni ziemi. Stąd wynika, że skała plutoniczna musiała zawsze znacznie później powstać, aniżeli otaczające ją dokoła utwory.

IV.

[28]) Przy wulkanicznych trzęsieniach ziemi rzecz ma się odwrotnie. Tam wzmożenie się czynności wulkanu powoduje wstrząśnienia w jego najbliższej okolicy.

V.

[29]) Według obliczenia Lapparenta 12 km^3 rocznie.

[30]) «Ocean Spokojny jest jedynem na ziemi morzem, które pomimo wielkich zmian na jego brzegach nigdy nie straciło charakteru największego zagłębienia oceanicznego» (Frech).

[31]) Na podstawie istnienia takiej terasy nad poziomem morza nie możemy jeszcze twierdzić, że poziom wody się obniża. Być może, że poziom wód morskich znachodził się jeszcze niżej, a dziś morze znowu się podnosi, jakkolwiek jest jeszcze dalekiem od tych teras, które dawniej wycięło w nadbrzeżnych skałach. A mimo to mamy pozorne wrażenie, że poziom morza opada, gdyż terasy leżą wysoko ponad jego zwierciadłem.

[32]) Pierwszy z tych ruchów nazwano także submersyą, a drugi emersyą.

[33]). Por. str. 28 i 29.

[34]) Jest rzeczą jasną, że gdy morze zaleje obszary, które nie były wystawione na działanie sił górotwórczych i zachowały poziome ułożenie warstw — to wtedy nie będzie niezgodności w uławiceniu, a pozostanie tylko przerwa w następstwie osadowych utworów jako dowód istnienia transgressyi.

[35]) Do naszych utworów mioceńskich stosuje się podział, jaki przyjęto dla utworów tegoż wieku w kotlinie wiedeńskiej, a mianowicie:

3) piętro sarmackie,
2) II. piętro śródziemnomorskie,
1) I. piętro śródziemnomorskie.

VI.

[36]) W pyle, który spadł 17 października 1846 koło Lyonu, znaleziono $^1/_8$ drobnych organizmów.

[37]) Między 15 a 27° północnej szerokości.

[38]) Ślady zwierząt mogą się bardzo długo zachować na powierzchni osadów pustynnych. Nieraz nawet po kilkunastu latach wyraźnie rozpoznawano ślady karawan.

[39]) Między dziś żyjącym a tryasowym Ceratodusem wykryto przy dokładnem zbadaniu pewne różnice w budowie czaszki i w uzębieniu. Dlatego niektórzy uczeni nazywają dziś żyjącą odmianę tej ryby Epiceratodus w odróżnieniu od Ceratodusa z okresu tryasowego.

[40]) Podobnie dziś środkowo-azyatyckie pustynie przylegają do bardzo wilgotnych stoków Himalayów, a tak samo pustynne obszary na zachodzie Północnej Ameryki graniczą z łańcuchami Sierry Nevady o bardzo obfitym opadzie atmosferycznym.

[41]) Wyraz dolina ma tutaj zupełnie inne znaczenie, niż gdy mowa o dolinach rzek. Dla uniknięcia dwuznaczności tam, gdzie chodzi o określenie lejkowatych zagłębień krasowych, wyraz «dolina» został ujęty w cudzysłów.

[42]) (do str. 109) Jak daleko pod powierzchnię ziemi sięgają zmiany temperatury, o tem była mowa w rozdz. III. (str. 33).

[42]) (do str. 115) W języku łacińskim «later» znaczy cegła.

[43]) Obruczew trafnie nazwał pustynie w środkowej Azyi «olbrzymiem laboratoryum, które wytwarza urodzajny pył loessowy».

VII.

[44]) Gdzie brak naturalnego źródła, tam — aby otrzymać wodę — trzeba kopać studnię tak głęboko, aż się dojdzie do poziomu wody gruntowej.

[45]) Por. str. 48.

[46]) Powietrze przy wyższej temperaturze może zawierać więcej pary wodnej, aniżeli przy niższej. To też, gdy wilgotne powietrze wznosi się i oziębia, przeważna część jego zapasu wilgoci musi się skraplać jako opad. Wzniesieniu się o 100 m w górę odpowiada przeciętnie obniżenie się temperatury powietrza o $0,6^0$ C.

[47]) Nazwa «Föhn» oznacza w Alpach wiatr, który wieje od południa i przekracza pasmą górskie. Wznosząc się, wiatr oziębia się o $0,6^0$ C na każde 100 m wysokości i traci wiele ze swego zapasu wilgoci. To też na południowych stokach Alp towarzyszą Föhn'owi obfite opady. Gdy prąd powietrza przekroczy najwyższe grzbiety Alp, obniża się i ogrzewa. To ogrzewanie odbywa się daleko prędzej, aniżeli oziębianie przy wznoszeniu się po południowej stronie, wynosi bowiem 1^0 C na każde 100 m. Wskutek tego w dolinach po północnej stronie Föhn pojawia się jako wiatr suchy i ciepły. Takiem samem zjawiskiem jest t. zw. wiatr halny, który często nawiedza północne stoki Tatr.

[48]) Zawartość tego gazu wynosi obecnie $0,03^0/_0$ objętości, a $0,045^0/_0$ ciężaru atmosfery.

[49]) O tych zmianach była mowa w rozdz. II. (str. 18).

[50]) Ich wpływ musiałby dać się uczuć przedewszystkiem tym okolicom, które otrzymują najmniej ciepła od słońca, a więc najdalej ku północy wysuniętym.

[51]) Por. str. 19.

[52]) Por. str. 132.

IX.

[53]) Do Morza Sarmackiego należało także Morze Czarne, oddzielone od Śródziemnego lądem, który się wówczas znajdował w miejscu dzisiejszego Morza Egejskiego. Bardzo późno, bo dopiero w epoce dyluwialnej, zapadł się ląd Egejski, a wskutek tego Morze Czarne zostało przyłączonem do Śródziemnego.

[54]) W przybliżeniu jezioro to jest położone pod 35^0 półn. szer., a 91^0 wsch. długości od Greenwich.

[55]) Ogółem wykryto dotąd w wodzie morskiej przeszło 30 pierwiastków. Oprócz już wymienionych najważniejszych składników znajdują się w wodzie morskiej: krzem, fosfor, fluor, jod, glin, żelazo, cynk, ołów, miedź, nikiel, srebro, złoto i inne jeszcze rzadkie pierwiastki. Niektóre z nich są rozpuszczone w tak drobnej ilości, iż zdołano je wykryć dopiero przy pomocy analizy spektralnej, lub analizując osad pozostały w kotłach parowców, popiół z roślin morskich, skorupy mięczaków i wapienne szkielety korali. Nadto woda morska pochłania z powietrza pewną ilość tlenu, azotu i bezwodnika węglowego.

[56]) Dwuwęglan wapniowy rozpuszcza się w wodzie, zaś węglan jest nierozpuszczalny. Organizmy mogą także inne połączenia wapniowe (chlorek, siarczan) przerabiać na węglan.

[57]) Z wyjątkiem połączeń wapniowych (por. str. 166).

[58]) Zupełnie podobne pręgi faliste mogą się tworzyć także pod wpływem wiatru na powierzchni piasków w obszarach pustynnych.

[59]) Podczas odpływu morza po piasku lub ile pełzają robaki, ślimaki i t. p. i wyciskają swe ślady. Przypływ pokrywa je nową warstwą piasku i tworzy jakby odlew pozostawionych śladów. Stąd owe wypukłości, zwane hieroglifami, pojawiają się najczęściej na spodniej powierzchni warstw. Gdzie warstwy znachodzą się w pionowem położeniu lub nawet zostały przewrócone, tam hieroglify są wskazówką, jak warstwy były ułożone przed wypiętrzeniem.

X.

[60]) Por. str. 172.

[61]) Z wód słodkich znane są tylko dwa gatunki korali.

[62]) Oprócz koralowych odznaczają się tą właściwością także wyspy wulkaniczne które są podmorskimi wulkanami.

[63]) 5—10^0 południowej szerokości, a 176—180^0 wschodniej długości geograficznej.

[64]) Por. str. 98.

[65]) Roślinność moczarów w strefie umiarkowanej składa się z rozmaitych gatunków trawy (trzcina, Arundo Phragmites; sitowie, Scirpus lacustris; turzyca, Carex; wełnianka, Eriophorum), z mchów (Sphagnum, Hypnum) i wrzosów (Erica Tetralix, Calluna vulgaris). Obok nich rosną także krzewy (łozina) i drzewa (olcha).

[66]) Połączenie węgla (C) z wodorem (H).

[67]) Por. str. 147.

[68]) T. j. prawie połowa obszaru Galicyi.

[69]) W r. 1891 znaleziono 951 cm^3 tego gazu w 100 l wody, zaczerpniętej z głębi.

XI.

[70]) Np. w Parku Narodowym Yellowstone w Ameryce Północnej.

[71]) Grupa minerałów, zwanych zeolitami, obejmuje natrolit, harmotom, stylbit, chabazyt i i.

[72]) Czasem okruchy zostają wskutek wzajemnego tarcia tak zaokrąglone, iż łudząco przypominają żwiry lub zlepieńce, osadzone przez wodę bieżącą. Takie okruchowce nazwano «skałami autoklastycznemi» (pseudokonglomeraty).

[73]) Aliaże otrzymujemy, stapiając razem dwa lub więcej różnych metali. Np. miedź z cyną daje bronz, a z cynkiem mosiądz.

[74]) Siarczkami nazywają się połączenia siarki z metalami, np. z żelazem (piryt), z miedzią i żelazem (chalkopiryt), z ołowiem (galenit), ze srebrem (argentyt) i t. d.

DODATEK.

[75]) W tych trzech grupach (A, Ba, Bb) skały wybuchowe tak są zestawione, iż zaczynają się od najbardziej kwaśnych, t. j. zawierających najwięcej krzemionki (60—80%). Dalej następują coraz mniej kwaśne, a wreszcie zasadowe. Te zawierają mniej krzemionki (45—60%), a za to więcej augitu, amfibolu, oliwinu i żelaza (po części jako magnetyt lub tytanit).

[76]) Np. gnajs składa się z takich samych minerałów co granit, ale różni się od niego ułożeniem składników mineralnych w równoległe warstwy.

[77]) Por. str. 55 i 56.

SPIS ILUSTRACYI.

SPIS TREŚCI.

I. Wiadomości wstępne. Str. 1—7.

II. Ziemia i jej stanowisko w wszechświecie. Str. 8—31.

III. Wnętrze ziemi i zjawiska wulkaniczne. Str. 32—62.

IV. Trzęsienia ziemi. Str. 63—70.

V. Ruchy skorupy ziemskiej. Zmiany w rozmieszczeniu lądów i mórz. Str. 71—84.

VI. Wietrzenie skał. Wiatr jako czynnik geologiczny. Pustynie. Gleba. Str. 85—117.

VII. Krążenie wody. Lodowce i lody śródlądowe. Epoki lodowe. Str. 118—149.

VIII. Denudacya. Str. 150—153.

IX. Zbiorniki wody. Str. 154—175.

X. Geologiczne znaczenie organizmów. Str. 176—191.

XI. Jak z luźnych osadów powstają zwięzłe skały? (Diageneza i metamorfizm). Str. 192—200.

DRUK UKOŃCZONO W MARCU 1907.